



ANNUEL

des Projets de fin d'études

2020



École des Ponts
ParisTech

Annuel des projets de fin d'études

de l'École des Ponts ParisTech

2020



École des Ponts

ParisTech

Sommaire

Table of contents

- 5 • Édito de la directrice de l'École
Editorial by the President of École des Ponts ParisTech
- 7 • Le mot de la directrice de l'Enseignement
A word from the Dean of Studies

Index des diplômés 324
Alumni Index

Index des organismes 326
Index of organizations

Index des thématiques 328
Index of subjects

Département de 1^{re} année
First Year Department

08

Langues et cultures
Languages and Cultures

12

Sciences humaines et sociales
Humanities and Social Sciences

14

Service des sports
Sports Department

16

Génie civil et
construction
Civil And Structural Engineering

20

Génie industriel
Industrial Engineering

130

Génie mécanique
et matériaux
*Mechanical Engineering and
Materials Science*

158

Ingénierie
mathématique et
informatique
*Applied Mathematics and
Computer Science*

200

Sciences
économiques,
gestion, finance
Economics, Management, Finance

252

Ville, environnement,
transport
City, Environment, Transportation

286



POUR l'École des Ponts ParisTech, il est essentiel de mettre en valeur la capacité des élèves du cursus d'ingénieur à répondre aux problèmes et aux enjeux complexes qui interrogent la société d'aujourd'hui et de demain.

C'est pourquoi nous réalisons depuis trois ans cet *Annuel des projets de fin d'études*. Ce document permet, à travers les sujets proposés par les entreprises ou les laboratoires de recherche, de mieux comprendre les attentes de chacun et de mettre en perspective l'évolution des formations proposées par les départements d'enseignement.

Ces projets, à l'image de la diversité des enseignements, portent sur la transition énergétique, les enjeux d'aménagement du territoire en France ou à l'international, la ville de demain et ses systèmes complexes, les nouvelles mobilités, l'organisation de la production industrielle, les enjeux de la modélisation pour accompagner le développement économique de la société et ses grands projets.

C'est aussi l'occasion de regrouper en un seul document et avec une vision globale, les travaux de nos élèves, issus des concours ou élèves internationaux en double diplôme. L'École tient à cette diversité qui apporte la richesse des cultures et des expériences académiques.

Je vous souhaite d'en apprécier la valeur et de prendre beaucoup de plaisir à le lire.

FOR École des Ponts ParisTech, it is essential to highlight the ability of engineering students to respond to the complex issues and challenges that confront society both today and tomorrow.

Three years ago, we decided to produce a Final Year Project Yearbook. This compilation allows us, through the subjects proposed by companies and research laboratories, to better understand the expectations of all actors and to put in perspective the evolution of the programs offered by the academic departments.

These projects, as well as the diversity of the curriculum, focus on energy transition, spatial planning issues in France and abroad, the city of tomorrow and its complex systems, new mobility modes, the organization of industrial production, the challenges of modeling in order to accompany the economic development of society and the realization of its major projects.

This Yearbook also provides an opportunity of combining in a single document and with a global vision, the final projects of our students, both from France and abroad. The School values this diversity which brings the richness of different cultures and academic experiences.

I hope you appreciate its value and enjoy reading it.

Le mot de la directrice de l'enseignement

A word from the Dean of Studies

Marie Mathieu-Pruvost

Directrice de l'enseignement à l'École des Ponts ParisTech
Dean of Studies of École des Ponts ParisTech



L'ÉCOLE a le plaisir de mettre à votre disposition cet *Annuel des projets de fin d'études* soutenus cette année. Depuis quelques temps, nous sommes engagés dans une démarche de valorisation des travaux réalisés par nos étudiants, au cours de leur cursus et lors de leur mobilité, en France et à l'international. Il s'adresse, en premier lieu, aux diplômés d'une même promotion. La conception des pages individuelles, sous forme de fiches recto-verso en français et en anglais, permet à chaque auteur de s'approprier ce support.

Pour l'École et ses départements d'enseignement, c'est aussi un outil qui sert à analyser, apprécier, comparer les sujets, mais aussi les réponses apportées aux entreprises et aux laboratoires de recherche. Au travers de tous les sujets traités par les élèves, cet *Annuel* favorise une approche réflexive sur les parcours académiques que nous proposons pour les améliorer, les renforcer, les actualiser.

Enfin, à l'occasion de rencontres avec de nouveaux partenaires, ce sera un outil de communication permettant d'appréhender la puissance de travail et la pertinence des idées que peuvent proposer les étudiants, afin de susciter de nouvelles collaborations.

Ce document est donc très précieux, il va inspirer les nouveaux élèves et les enseignants. Faites-en bon usage.

ÉCOLE des Ponts ParisTech is pleased to present its current Final Year Project Yearbook. For some time now, we have been engaged in a process of promoting the work carried out by our students, during their studies and during their mobility, in France and abroad. This Yearbook is primarily addressed to graduates from the same class. The design of the individual pages, in the form of a double-sided card in French and in English, allows each student to make the best use of this document.

For the School and its departments, it is also a tool that is used to analyze, assess and compare topics proposed by companies and research laboratories, as well as the students' answers. This Yearbook and all the subjects treated by the students allow for a reflexive approach to the academic programs that we offer, in order to improve, reinforce and update them.

Finally, during meetings with new partners, it will be a communication tool to understand the power of work and the relevance of the ideas that students can propose, in order to encourage new collaborations.

This document is therefore very valuable and will inspire new students and teachers. Make good use of it.

Département de 1^{re} année

First Year Department

Les enjeux

La première année assure une transition entre la formation antérieure (classes préparatoires ou 1^{er} cycle universitaire) et le cycle master de la formation d'ingénieur. Son objectif est de contribuer à la formation d'ingénieurs de haut niveau, dotés d'une culture scientifique solide, en leur permettant d'acquérir :

- la capacité à mener des raisonnements scientifiques rigoureux ;
- une intelligence du monde et des relations humaines ;
- la capacité à travailler en équipe.

Il s'agit de donner aux élèves les moyens d'un choix raisonné pour entrer de plain-pied dans les formations professionnalisantes des départements du cycle master.

La formation de tronc commun

Le 1^{er} semestre est dédié aux apprentissages fondamentaux dans les disciplines maîtresses de l'École : Mathématiques (Optimisation, Probabilités, Analyse et calcul scientifique), Mécanique des milieux continus - solides, Physique quantique et statistique, Programmation, Sciences humaines et sociales. Les élèves disposent de créneaux de « travail personnel accompagné » et d'activités pédagogiques réalisées en groupes, tutorées par l'équipe enseignante. Les élèves suivent un séminaire Communication de quatre jours répartis au cours du 1^{er} semestre.

Les cours électifs et les projets

Le 2^e semestre propose deux enseignements de tronc commun : Introduction à l'économie, Mécanique des milieux continus/fluides et des cours d'approfondissement électifs : Algorithmes et structures des données, Physico-chimie des états de la matière, Équations aux dérivées partielles et éléments finis, Décision dans l'incertain, Développement durable - Ingénieur dans un monde complexe et incertain, et plusieurs cours de Sciences humaines et sociales.

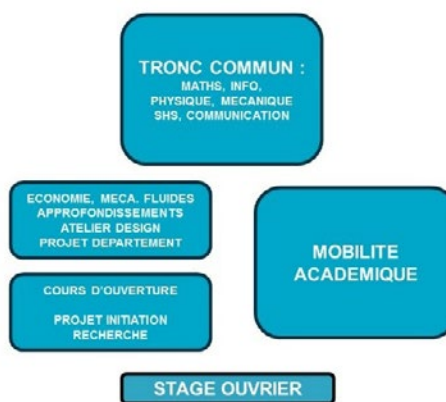
Ce semestre marque aussi le début du travail en mode projet en collaboration avec les départements du cycle master et les laboratoires de recherche de l'École. Une offre de cours et projets a été conçue de manière à placer les élèves au plus près des situations réelles dans une diversité de champs disciplinaires de l'ingénieur. Les élèves choisissent 4 cours et découvrent des domaines professionnels à travers les projets encadrés par des

enseignants et des chercheurs de l'École, dans une offre structurée autour de cinq thématiques : Énergie, Environnement & Biodiversité, Matériaux & Structures, Numérique & Systèmes complexes, Ville durable.

Les élèves participent pendant une semaine aux Ateliers Design organisés avec l'École d'architecture de la ville & des territoires de Marne-la-Vallée, où des équipes associant ingénieurs, architectes et designers conçoivent et testent des structures grandeur nature, innovantes et performantes, à partir d'un cahier des charges. Ils ont ainsi l'occasion de réfléchir sur la relation entre fonction et forme d'un objet, de partager leurs compétences, d'agir ensemble en tant que futurs ingénieurs, architectes et designers et de s'initier à la formation d'ingénieur-architecte, au sein de ce processus pédagogique co-construit.

Une mobilité académique Erasmus est proposée aux élèves au 2^e semestre dans des établissements européens partenaires : Imperial College London, École polytechnique fédérale de Zürich, University College de Dublin, université technique de Munich, université de Aachen, Politecnico di Milano, Politecnico de Torino, Università di Roma Tor Vergata, université polytechnique de Madrid, université polytechnique de Barcelone, université technique de Prague.

En fin de 2^e semestre, le stage d'immersion tutoré permet d'occuper un poste d'exécutant en entreprise pour une immersion dans le monde du travail, en France ou à l'étranger.



Structure du programme de 1^{re} année © François Chevoir et Élisabeth Beyls.



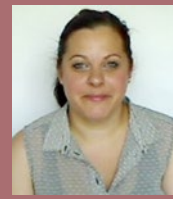
François Chevoir
Président
Department Head



Élisabeth Beyls
Directrice académique
Academic Head



Véronique Coucurou-Ostrowski
Inspectrice des études
Academic Advisor



Laura Saintjean
Assistante polyvalente
Department Assistant

Challenges

The first year ensures a transition between students' previous studies (preparatory classes or University bachelor's degree) and the engineering master's degree. Its objective is to contribute to the education of high level engineers with a solid scientific culture, by enabling them to acquire:

- the ability to conduct rigorous scientific reasoning;
- an intelligence of the world and human relations;
- the ability to work in a team.

It is a question of giving the students the means to choose one of the specialization programs offered by the departments of the master's degree.

Common core curriculum

The first semester is devoted to fundamentals in the main disciplines for the general engineering program: Mathematics (Optimization, Probability, Analysis and Scientific Computing), Solid-state Mechanics - Solids, Quantum and Statistical Physics, Programming, Humanities and Social Sciences. "Guided self-study" periods and educational activities carried out in groups, tutored by the teaching team, are offered to students. They also follow a four-day Communication seminar during the first semester.

Elective courses and projects

The second semester offers two core courses: Introduction to Economics, Mechanics of Continuous Media/Fluid Mechanics, and advanced elective courses: Algorithm and Data Structures, Physico-chemical aspects of states of matter, Partial Differential Equations and finite elements, Decision making in an uncertain environment, Sustainable development: the engineer in a complex and uncertain world, and several courses in the Humanities and Social Sciences.

This semester also marks the beginning of project mode work in collaboration with the Master's departments and the School's research laboratories. An offer of courses and projects has been designed to place students in the real world in a variety of engineering disciplines. Students choose four courses to discover professional fields through projects supervised by the School teachers and researchers, from an offering structured around five themes: Energy, Environment & Biodiversity, Materials & Structures, Digital & Complex Systems, the Sustainable City.

Students participate in week-long Design Workshops co-organized with the École d'architecture de la ville et des territoires at Marne-la-Vallée, where teams combining engineers, architects and designers design and test life-size, innovative and efficient structures, from specifications. They thus have the opportunity to reflect on the relationship between the function and form of an object, to share their skills, to collaborate as future engineers, architects and designers and to learn about the engineer-architect program, within this co-constructed educational process.

Erasmus academic mobility is offered to students in the second semester in partner European institutions: Imperial College London, Federal Institute of Technology Zürich, University College Dublin, Technical University of Munich, University of Aachen, Politecnico di Milano, Politecnico de Torino, Università di Roma Tor Vergata, Polytechnic University of Madrid, Polytechnic University of Barcelona, Technical University of Prague.

At the end of the 2nd semester, the tutored first year professional internship immerses students directly in the working world, either in France or abroad.



Leçon inaugurale - Michel Virlogeux, 31 août 2016 © École des Ponts ParisTech.

Laboratoires partenaires et chaires

Research partnerships and chairs

Laboratoires • Laboratories



CEREA

Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique. Thématiques : qualité de l'air, dispersion et transports de polluants, modélisation atmosphérique à l'échelle urbaine et régionale, assimilation de données.

Atmospheric Environment Education and Research Center. Themes: air quality, pollution dispersal and transportation, atmospheric modeling on an urban and regional scale, data assimilation.



CERMICS

Centre d'Enseignement et de Recherche en Mathématiques et Calcul Scientifique. Thématiques : mathématiques appliquées, calcul scientifique, modélisation, optimisation.

Research Center in Mathematics and Scientific Computing. Themes: applied mathematics, scientific computing, modeling, optimization.



CIRED

Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement. Thématiques : économie du développement et de l'environnement, questions énergie / déchets / transports / eau / alimentation, enjeux d'environnement global, principe de précaution, modélisation.

International Environment and Development Research Center. Themes: development and environmental economics, energy/waste/transportation/water/food issues, global environmental challenges, precautionary principle, modeling.



HM&CO

Hydrologie Météorologie et Complexité. Thématiques : observation et analyse multi-échelle, modélisation par approche système, gestion de l'eau en tant que risque et ressource, quantité et qualité, hydrologie pour une ville résiliente.

Hydrology Meteorology and Complexity. Themes: multiscale observation and analysis, system based modeling, management of water as risk and resource, quantity and quality, hydrology for a resilient city.



LATTS

Laboratoire Techniques, Territoires et Sociétés. Thématiques : sciences sociales, aménagement, histoire, dialogue entre sciences sociales et technique et ingénierie, dans les entreprises comme dans les administrations. Deux grands domaines abordés : organisations productives et organisations territoriales.

Technologies, Territories, and Societies Laboratory. Themes: social sciences, spatial planning, history, dialogue between social sciences and technology and engineering, in both private sector companies and the public sector. Two major domains tackled: productive organizations and territorial organizations.



LEESU

Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes urbains. Thématiques : milieu urbain et son environnement, analyse des territoires urbains et périurbains au travers de leur fonctionnement sociotechnique et environnemental en liaison avec les territoires ruraux avec lesquels ils sont en interaction.

Water, Environment, and Urban Systems Laboratory.



LHSV

Laboratoire d'hydraulique Saint-Venant. Thématiques : mécanique des fluides appliquée à l'hydraulique et l'environnement (domaines fluvial, côtier et portuaire).

Saint-Venant Hydraulics Laboratory. Themes: fluid mechanics applied to hydraulics and the environment (rivers, coasts, and harbors).



LIGM

Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge. Thématiques : algorithmes et architectures pour l'analyse et la synthèse d'images ; combinatoire algébrique et calcul symbolique ; logiciels, réseaux et temps réel ; modèles et algorithmes ; signal et communication.

Gaspard Monge Computer Science Laboratory. Themes: algorithms and architectures for image analysis and synthesis; algebraic combinatorics and symbolic computation; software, networks and real time; models and algorithms; signal and communication.



LMD

Laboratoire de Météorologie Dynamique. Thématiques : dynamique de l'atmosphère, étude du climat et de ses fluctuations interannuelles, échelles continentale et globale.

Dynamic Meteorology Laboratory. Themes: atmospheric dynamics, study of climate and its interannual fluctuations, continental and global scales.



LVMT

Laboratoire Ville, Mobilité, Transport. Thématiques : analyse et la modélisation des interactions entre transports et aménagement de l'espace.

City, Mobility, Transportation Laboratory. Themes: analysis and modeling of interactions between transportation and spatial planning.



Laboratoire Navier

Thématiques : recherches de base sur la mécanique et la physique des matériaux et des structures et leurs applications à la géotechnique, au génie civil, à la géophysique et à l'exploitation pétrolière.

Themes: basic research on the mechanics and physics of materials and structures, and their applications to geotechnics, civil engineering, geophysics, and the oil industry.



PJSE

Paris-Jourdain Sciences économiques. Thématiques : laboratoire de recherche généraliste en économie, avec couverture large de la discipline. Excellence mondialement reconnue plus spécifiquement en économie théorique, en économie publique et en économie du marché du travail.

Paris-Jourdain Economics Laboratory, Paris School of Economics. Themes: general economics research laboratory, with broad coverage of the discipline. A worldwide reputation for excellence, more specifically in theoretical economics, public economics, and labor market economics.

Le département en photos • The department through pictures



Leçon inaugurale de la première année avec Jean-Marc Jancovici, 2015, « L'homme et l'énergie, des amants terribles » © Philippe Renault - École des Ponts ParisTech.



Prises de vues École, Sélection de photos 2017 © École des Ponts ParisTech.



Les ateliers design 2016 © David Delaporte - École des Ponts ParisTech.

Langues et cultures

Languages and Cultures

Fort de ses nombreux accords internationaux, l'École est un campus international et multiculturel fréquenté par 25% d'étudiants internationaux. Une dizaine de langues étrangères y sont enseignées : l'anglais, le français langue étrangère (FLE), l'espagnol, l'italien, l'allemand, le chinois, l'arabe, le portugais, le russe et le japonais. La cinquantaine d'enseignants du département représente une vingtaine de nationalités. Les élèves étudient deux langues, dont l'anglais, obligatoire pour tous les élèves, et le FLE pour tous les élèves internationaux. 13% de la durée totale des études sont ainsi dédiés aux langues et cultures étrangères.

Le défi assumé de la diversité

Le DLC met en valeur l'hétérogénéité qui caractérise les élèves ingénieurs. En effet, dans une classe de langue, on retrouve des apprenants des départements scientifiques, de différentes aires géographiques (régionales, nationales ou internationales), qui mettent en œuvre diverses pratiques langagières englobant des enjeux de médiation linguistique et interculturelle.

Les élèves travaillent donc par projets transdisciplinaires, en équipes multiculturelles. Tous ces éléments favorisent l'émergence de compétences transversales (« heart skills ») pour communiquer et interagir dans une ou deux langues étrangères en contexte national ou international et dans des situations formelles ou informelles. Cela implique de :

- maîtriser des savoir-faire linguistiques, professionnels et de médiation ;
- développer des savoir-être de l'ingénieur et du manager citoyen et responsable ;
- s'ouvrir pour s'adapter dans un monde interculturel, plurilingue et transdisciplinaire ;
- élargir sa culture générale et sa culture générale scientifique ;
- s'adapter à un contexte de communication pour présenter un sujet ou un travail scientifique et technique.

Plurilinguisme et interculturelité

Les quelques illustrations suivantes de dispositifs plurilingues et interculturels reflètent une pédagogie active qui vise avant tout à développer une réelle autonomie des élèves dans leurs pratiques langagières :

- Le Tandem est un module où deux étudiants définissent ensemble leur projet d'apprentissage en amont et s'apprennent mutuellement leur langue maternelle et leur culture. La gestion d'un projet commun pousse chaque binôme à réfléchir sur son propre processus d'apprentissage ;
- Échanges à distance : plusieurs dispositifs de type « échange à distance » ont été mis en place à l'École. Par exemple, « Speaking Near and Far », où les élèves de l'École et ceux d'une université américaine forment une équipe en télécollaboration en utilisant leur langue respective ;
- Pratiques artistiques et créatives : par exemple, « Écrire et raconter des récits pour une rencontre interculturelle trilingue », où les apprenants développent leur créativité, individuelle et collective, en écrivant des histoires en espagnol, allemand et français ;
- « Drama Club Journeys » : à travers des voyages de découverte de soi-même et des autres par l'expérience des improvisations et des jeux théâtraux, les apprenants coécrivent une pièce sur un thème, en lien avec leur future vie professionnelle. Ils jouent ensuite la pièce devant un public.

À l'image de ces dispositifs, les cours proposés au DLC ont pour but de créer une culture plurilingue et interculturelle. Au contact d'autres cultures, on redécouvre mieux la sienne. C'est grâce à cette reconnaissance réciproque que nous réussissons à décloisonner nos langues et cultures.



Cours de langue à l'École © Yann Piriou, 2017 (pour l'École des Ponts ParisTech).



Jörg Eschenauer

 Président | Responsable
 de la section d'allemand
 Department Head
 | German Section
 Coordinator



**Mariluz
 Di Tillio-Lacruz**

 Adjointe | Responsable
 de la section
 d'espagnol/enseignante
 Assistant Department
 Head | Spanish Section
 Coordinator and teacher



**Amokrane
 Kaddour**

 Adjoint | Enseignant
 de FLE
 Assistant Department
 Head | FFL teacher



Stacey Benoît

 Responsable de la
 section d'anglais et
 enseignante
 English Section
 Coordinator and teacher



**Isabelle Salengros
 Iguenane**

 Responsable de la
 section de FLE et
 enseignante
 FFL Section Coordinator
 and teacher



Diarietou Coulibaly

 Assistante polyvalente
 Department Assistant

With its many international agreements, the School is an international and multicultural campus attended by 25% of international students. A dozen languages are taught: English, French as a foreign language (FFL), Spanish, Italian, German, Chinese, Arabic, Portuguese, Russian and Japanese. The fifty teachers in the department represent more than twenty different nationalities. Students are required to study two foreign languages, including English, which is compulsory for all students, and FFL for all international students. 13% of their total studies is thus devoted to foreign languages and cultures.

The fully accepted challenge of diversity

The DLC highlights the heterogeneity that characterizes engineering students. Indeed, in a language class, there are learners from scientific departments, from different geographical areas (regional, national and international), who implement various language practices encompassing issues of linguistic and intercultural mediation.

Students work through transdisciplinary projects in multi-cultural teams. All these elements favor the emergence of cross-skills ("heart skills") to communicate and interact in one or two foreign languages in national or international contexts and in formal or informal situations. This involves:

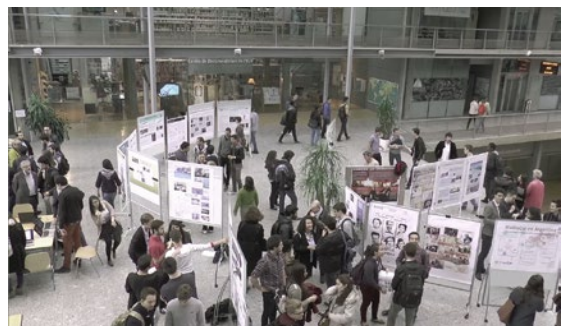
- mastering linguistic, professional and mediation skills;
- developing the skills of the engineer and of the responsible and citizen manager;
- opening up to adapt in an intercultural, plurilingual and transdisciplinary world;
- broadening her/his general knowledge and scientific culture;
- adapting to a communication context in order to present a subject or scientific and technical work.

Plurilinguism and interculturality

The following illustrations of plurilingual and intercultural teaching practices reflect an active pedagogy that aims above all at developing students' effective autonomy in their language practices:

- *The Tandem* is a module where two students predefine together their learning project, and teach each other their own language and culture. Managing this project requires each team to reflect on its own learning processes;
- *Distance Exchange*: distance exchange projects have been implemented at the School. For example, in "Speaking Near and Far", students from the School and from an American university form a telecollaborative team using their respective languages;
- *Artistic and creative practices*: for example, "Writing and telling stories for a trilingual intercultural encounter", where learners develop their creativity, individually and collectively, by writing stories in Spanish, German and French;
- "Drama Club Journeys": through journeys of discovery of oneself and others, as well as the experience of improvisations and theatrical games, learners co-author a play on a theme, in connection with their future professional life. They then act the play in front of an audience.

As with these teaching practices, courses offered by the DLC are intended to develop a plurilingual and intercultural approach. Through contact with other cultures, we are better able to rediscover our own. Thanks to this mutual recognition, we can bridge the gap between our languages and cultures.



Journées langues et cultures 2016 © École des Ponts ParisTech.

Sciences humaines et sociales

Humanities and Social Sciences

Enjeux

Le département SHS est un département transversal qui est le support d'une offre d'enseignement en première, deuxième et troisième années. Comme les autres départements, le département SHS prépare les élèves à leur vie professionnelle future. Il ne s'agit pas d'offrir un vernis culturel aux élèves, mais de leur donner des ressources pour une prise de distance critique sur leur future pratique d'ingénieur. Il s'appuie pour cela sur des méthodes et des savoirs rigoureux portés par les différentes disciplines des sciences humaines et sociales. Cette volonté de sérieux et de bien marquer les apports spécifiques (et les limites) des sciences humaines et sociales par rapport aux sciences de l'ingénieur n'interdit pas de faire appel à des pédagogies innovantes (pratique théâtrale, analyse de la pratique, travail d'archive, production de vidéos ou de sites internet, etc.). La curiosité doit rester un moteur de la motivation des élèves.

Des enseignements rassemblés autour de 3 finalités

La première est de permettre aux élèves largement marqués par un enseignement scientifique de se confronter à d'autres manières de penser et d'autres formes de rigueur. C'est ainsi que dans les cours de droit, ils sont amenés à construire un raisonnement à partir de la jurisprudence. Ils peuvent aussi découvrir les méthodes et concepts de l'anthropologie ou de la philosophie politique et, de manière générale, une large palette des disciplines de SHS.

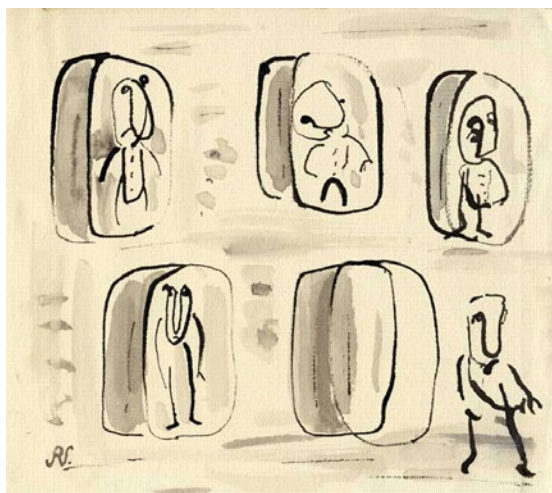
La seconde est d'ouvrir les voies de lectures critiques des techniques dont ils seront les porteurs et de leur permettre de replacer l'ingénieur et la technique dans la société : histoire de l'ingénieur et histoire des sciences, histoire des technologies urbaines, cartographie de controverses scientifiques, réflexions sur le mésusage des chiffres.

La troisième, depuis 2016, consiste à préparer les élèves à appréhender le monde du travail comme un monde humain et social en leur donnant accès à diverses sciences du travail (sociologie des organisations, psychologie, ergonomie, approches interculturelles, etc.). La formation dans ce domaine étant indissociable de la pra-

tique, l'offre d'ateliers et de cours est articulée autour des stages, en amont et en aval. Il s'agit d'offrir aux élèves des grilles d'analyse qui leur permettent d'être mieux armés face à des situations potentiellement déstabilisantes et de faire de ces stages la première marche d'apprentissage dans un parcours qui les conduira vers des fonctions d'encadrement.

L'offre d'enseignement

- Première année : un cours de communication, un cours sur l'histoire de l'ingénieur, un exercice « cinéma et travail » d'introduction au monde du travail, en préparation du stage d'insertion professionnelle en position d'exécutant, et un cours optionnel parmi de nombreuses disciplines ;
- deuxième année : un cours de droit, un cours optionnel parmi de nombreuses disciplines et une offre d'accompagnement au stage ;
- troisième année : un exercice de retour d'expérience sur le stage de deuxième année.



Sortir du cadre © Gilles Jeannot.



Gilles Jeannot

 Président
 Department Head



Lucile Gindre

 Inspectrice des études
 Academic Advisor



Imane Hamade

 Assistante polyvalente
 Department Assistant

Challenges

The SHS department is a cross-cutting department that offers courses in all three years of the Engineering Degree Program. Like other departments, the SHS department prepares students for their future professional life. The goal is not to offer a cultural veneer to the students, but to give them the resources to develop a critical distance of their future engineering practice. It relies for this on rigorous methods and knowledge inherent to the different disciplines of the human and social sciences. This rigorous approach and clear identification of the specific contributions (and the limits) of the social sciences and humanities compared to the engineering sciences does not preclude the use of innovative pedagogies (role playing, analysis of professional practice, archive work, video and or website production, etc). Curiosity must remain the driving force of student motivation.

Courses centered around three goals

The first goal is to enable students who are largely influenced by their scientific education to confront other ways of thinking and other forms of intellectual rigor. For example, in law courses, they are educated to reason relying on jurisprudence. They also have the possibility of studying the methods and concepts of anthropology or political philosophy and more generally a broad spectrum of humanities and social sciences disciplines.

The second goal is to cultivate open-mindedness to enable them to have a critical approach to the engineering techniques they will implement and allow them to place the engineer and technology again at the heart of society: history of the engineer and history of science, history of urban technologies, cartography of scientific controversies, reflections on the misuse of statistics.

The third goal, since 2016, is to prepare students to apprehend the world of work as a human and social world by giving them access to various work sciences (sociology of organizations, psychology, ergonomics, intercultural approaches, etc). As education in this field is inseparable

from practice, workshops and courses are offered both before and after their internships. The aim is to allow students to develop analytical thinking in order to be better armed to face potentially destabilizing situations and to make these internships the first learning step in a journey that will lead them to exercise executive functions.

Course offerings

- First year: a course in communication and the history of the engineer, an exercise "cinema and work" of introduction to the world of work in preparation for the work placement, and an elective course (chosen from several disciplines offered);
- Second year: a law course, an elective course (chosen from several disciplines offered) and preparation for their internship;
- Third year: a feedback exercise on the second year internship.



Le monde du travail comme espace de coopération
 © Laure Criqui.

Service des sports

Sports Department

Le sport fait partie intégrante de la formation des ingénieurs des Ponts

La pratique physique et sportive participe à la formation du cadre de demain, un être capable de communiquer, de participer à la dynamique d'un groupe, d'innover, de s'adapter. L'enseignement dispensé permet de solliciter toutes les ressources de l'étudiant, motrices, cognitives, relationnelles, émotionnelles, informationnelles, etc. Par l'action, l'étudiant est confronté à la résolution de problèmes complexes et à la prise de décision. Il doit se connaître pour s'engager dans une pratique d'apprentissage, d'entraînement, dans un projet d'entretien durable de sa santé, dans une logique de développement personnel. Il doit gérer un groupe, s'investir dans une structure, faire preuve d'innovation et de créativité, être capable de communiquer.

Le service des sports gère cette formation ainsi que l'ensemble des activités sportives de l'École, notamment les nombreux équipements mis à la disposition des étudiants et du personnel de l'École : courts de tennis, terrain de basket/volley, terrain de foot/rugby synthétique, *urbanfoot*, gymnase avec une salle de danse, de gymnastique sportive et de sports collectifs, salle de musculation, de danse. Ces installations sportives appartiennent à l'École. Pour certaines activités, elles sont louées : aviron, natation, tennis, tennis de table et escalade.

La responsable du service des sports s'occupe de la gestion des modules de sport qui sont obligatoires pour l'obtention du diplôme de l'École des Ponts ParisTech. Le service des sports aide le Bureau des sports (BDS) dans son fonctionnement et s'assure de sa bonne gestion. L'association sportive (AS ENPC) organise le sport de compétition et de loisir à l'École.

Du sport pour tous et tous les jours à l'École !

Aujourd'hui ce sont plus de 400 étudiants qui pratiquent une activité sportive dans le cadre de leur formation à l'École. Ce sont autant d'étudiants qui sont licenciés à l'AS ENPC, font un sport en loisir ou en compétition et participent à des week-ends sportifs. Des créneaux horaires

sont réservés aux activités sportives car le sport, sanctionné par ECTS, est obligatoire en première et en deuxième années de la formation d'ingénieur. La liste des sports accessibles est définie chaque année par la responsable des sports. Les sports collectifs sont privilégiés afin de développer l'esprit d'équipe et de faciliter l'intégration des nouveaux étudiants en deuxième année. Les modalités d'inscription et de validation sont définies dans le livret d'accueil des étudiants.

Une pratique encadrée et évaluée

Chaque année, les étudiants font un choix à la mi-septembre parmi 14 activités sportives et seront évalués dans l'activité choisie après avoir réalisé les 20 séances demandées. L'assiduité est essentielle à la validation et à la progression, elle fait donc l'objet d'un suivi rigoureux. La note est attribuée par l'enseignant en fonction de l'inclusion dans le collectif, de l'implication, du travail, des progrès dans les cours et de l'engagement dans les compétitions universitaires. L'évaluation se fait sur la base d'un contrôle continu, même si des épreuves ponctuelles sont organisées dans certains sports. En cas d'incapacité partielle ou totale à la pratique sportive, des activités alternatives sont définies (selon le cas : musculation, natation ou rédaction d'un mémoire).



Boxe © Anne Nottelet Tollard.



Anne Nottelet Tollard

 Responsable du service
 des sports
 Department Head



Véronique
 Coucurou-Ostrowski

 Adjointe à la responsable
 des sports
 Assistant Department Head

Sport is an integral part of the education of the School engineers

Physical activity and sports practice contribute to the education of tomorrow's executives, people who can communicate, participate in group dynamics, innovate and adapt. The sports program offered aims to solicit all the students' resources (motor, cognitive, relational, emotional, informational, etc). Through action, the student is confronted with the resolution of complex problems and decision making. He must know himself in order to engage in a practical learning and training, as part of a long-term health maintenance and personal development effort. He must be capable of managing a group, becoming involved in a team, demonstrating innovation and creativity, and communicating effectively.

The sports department manages this program as well as all of the School's sports activities, in particular the many facilities available to students and School staff: tennis, basketball and volleyball courts; soccer, synthetic rugby and urban soccer pitches, a gymnasium (a dance studio, gymnastics and team sports rooms, weight rooms). These sports facilities are located on the School campus. For other activities, additional facilities are contracted: rowing, swimming, tennis, table tennis and climbing.

The Head of the Sports Department is in charge of managing the sports modules which are required for the School degree. The Sport Department also helps the Student Sport Office (BDS) in its operations and ensures its good management. In addition, the School Sports Association (AS ENPC) organizes competitive and leisure sport activities at the School.

Sport for everyone and every day at the School!

Today there are more than 400 students who practice a sports activity as part of their education at the School and are members of the School Sports Association. They practice leisure and competitive sports and participate in sports weekends. Time blocks are reserved for sports activities because sport, validated by ECTS, is compulsory in first and

second years of engineering studies. The list of sports offered is established each year by the Department Head. Team sports are given priority in order to develop team spirit and facilitate the inclusion of new students at the beginning of the master's degree. Registration and validation procedures are defined in the student welcome booklet.

Monitored and evaluated sport activities

Each year in mid-September, students choose one from among 14 sports activities for which they will be evaluated after completing the 20 sessions required. Attendance is essential for validation and progression and is therefore closely monitored and graded by the teacher. Grades are awarded based on team work, involvement, students' work and progress, and participation in School competitions. The evaluation is based on continuous assessment, even if periodic evaluations are organized in certain sports. In case of partial or total inability to practice sports, students are directed towards alternative activities (according to the individual: strength training, swimming or writing a report related to sport).

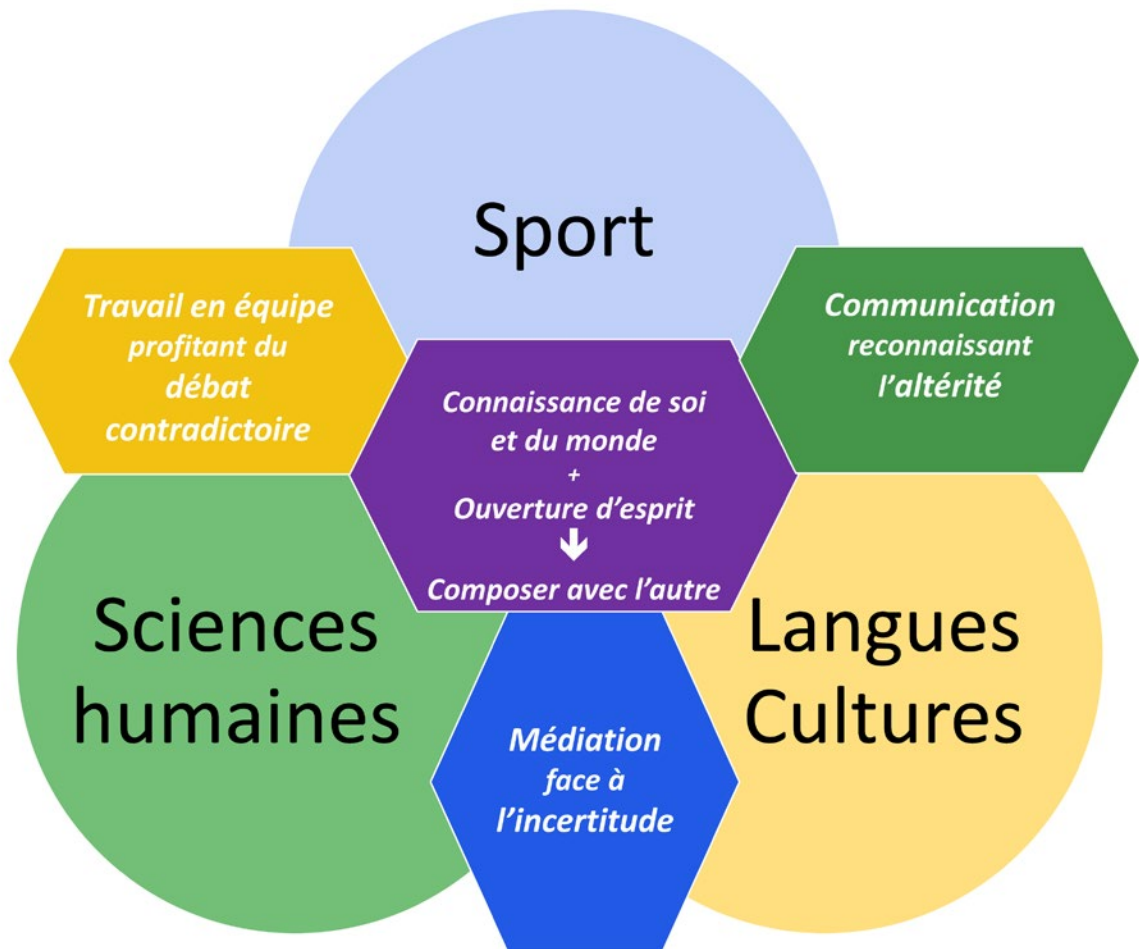


L'unité de l'équipe pour la réussite © Anne Nottelet Tollard.

Une approche partagée

A shared approach

Des compétences transversales • « heart skills »



« Heart skills » © Jörg Eschenauer, Gilles Jeannot et Anne Nottelet Tollard, 2019.

Travailler en équipe • Team work

Langues et cultures



Drama Club, Journées Langues et cultures © École des Ponts ParisTech, 2016.

Sport



Handball, terrain Maison haute © Anne Nottelet Tollard, 2018.

Sciences humaines et sociales



Extrait de DE GENSSANE, Antoine, 1797: Pompes portatives pour éteindre les incendies. Cote La Source : Ms. 847 © École des Ponts ParisTech.

Génie civil et construction

Civil And Structural Engineering

Les élèves en formation d'ingénieur peuvent choisir, à leur entrée en 2^e année, un cursus proposé par le département Génie civil et construction (GCC) pour concevoir des ouvrages, gérer de grands projets, organiser des chantiers, innover et développer de nouveaux matériaux et techniques.

Le département GCC forme des ingénieurs concepteurs et constructeurs, ayant une approche globale des projets, un haut niveau scientifique et une forte technicité.

Les enjeux

On construit plus aujourd'hui dans le monde que jamais auparavant (villes entières dans certains pays émergents, constructions off-shore, réseaux de transports...). Les concentrations urbaines nécessitent d'inventer des solutions tout à fait nouvelles, pour les bâtiments comme pour les infrastructures (gratte-ciel de très grande hauteur, réseaux métropolitains...).

Les besoins évoluent, engendrant des constructions sans précédent de par leurs fonctions et leurs dimensions (méga stades, aéroports géants, réseaux TGV...).

L'impact environnemental de la construction est tel qu'un renouvellement profond des techniques s'avère nécessaire (réduction des dépenses énergétiques, facilités de recyclage...). Les phénomènes d'érosion, de pollution et d'instabilité des sols sont de plus en plus fréquents ; ils impliquent pour y remédier un développement important de la mécanique des sols et des techniques associées. De nouveaux matériaux (bétons et aciers à très hautes résistances, composites) et de nouvelles méthodes de calcul liées à l'informatique apparaissent, bouleversant la conception des ouvrages. La numérisation et la robotisation ouvrent de nouvelles perspectives pour une construction efficiente et durable.

Le rapport entre la société et la technique s'est transformé. Une grande attention au contexte, à l'environnement et aux usagers est désormais exigée, ce qui impose à l'ingénieur de savoir expliquer, négocier, débattre pour aboutir aux solutions techniques les plus appropriées. Ces évolutions cruciales appellent des ingénieurs concepteurs et constructeurs de haut niveau qui sont amenés à maîtriser la complexité dans une approche pluridisciplinaire.

Les métiers

La formation dans le département GCC permet de travailler dans tous les secteurs de la construction (bâtiments, ouvrages d'art, travaux publics, géotechnique, structures, travaux maritimes, ouvrages pour l'énergie...) et ouvre à de très nombreux métiers : maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, bureaux d'études, entreprises de travaux, recherche & développement, méthodes.

Les trois parcours proposés

- Ingénieur Génie civil, incluant plusieurs options ;
- Ingénieur Structures et architecture : la filière Structures & architecture se situe à l'interface de l'architecture et de l'ingénierie, et mêle étudiants et enseignements de l'École des Ponts ParisTech et de l'ENSAVT Marne-la-Vallée. Elle constitue une préparation au double diplôme ingénieur architecte ;
- Ingénieur Chercheur : les cours de trois masters recherche peuvent être suivis en 3^e année : AMMS (Approches multi-échelles des matériaux et des structures), MSROE (Mécanique des sols, des roches et des ouvrages dans leur environnement) et SMCD (Sciences des matériaux pour la construction durable). Ce parcours destine les élèves à une carrière d'ingénieur-expert ou une poursuite d'études en doctorat.



Le pont de Térénez, dans le Finistère entre Rosnoën et Argol, achèvement 2011. Concepteur : Michel Virlogeux, architecte : Charles Lavigne © R. Le Roy.



Bernard Vaudeville

 Président
Department Head



Jean-Michel Pereira

 Adjoint au
 Président
Assistant Department Head



Aphrodite Michali

 Directrice
 académique
Academic Head



Florence Borde

 Inspectrice des
 études
Academic Advisor



Katy Pfinder

 Assistante
 polyvalente
Department Assistant

When they enter the second year of engineering studies, students can choose a course offered by the Civil Engineering and Construction Department (GCC) to design structures, manage major projects, organise worksites, innovate and develop new materials and techniques.

The GCC department trains design and construction engineers with a global approach to projects, a high scientific level and a strong technical background.

The issues at stake

More is being built in the world today than ever before (whole cities in some emerging countries, off-shore construction, transport networks, etc.). Urban concentration requires the invention of completely new solutions for both buildings and infrastructure (very high-rise buildings, metropolitan networks, etc.).

Needs are changing, leading to unprecedented construction in terms of function and size (mega stadiums, giant airports, high-speed train networks, etc.).

The environmental impact of construction is such that a profound renewal of techniques is necessary (reduction of energy costs, recycling facilities, etc.). The phenomena of erosion, pollution and soil instability are increasingly frequent; to remedy this, they require a major development of soil mechanics and associated techniques. New materials (concretes and very high strength steels, composites) and new calculation methods linked to computers are appearing, which are revolutionising the design of structures. Digitalisation and robotisation are opening up new prospects for efficient and sustainable construction.

The relationship between society and technology has been transformed. Great attention to the context, the environment and users is now required, which requires the engineer to know how to explain, negotiate and debate in order to come up with the most appropriate technical solutions. These crucial developments call for high-level design and construction engineers who are required to master complexity in a multidisciplinary approach.

Employment prospects

A qualification from the Civil and Structural Engineering Department enables you to work in all sectors of construction (buildings, engineering structures, public works, geotechnics, structures, maritime works, energy works, etc.) and opens up a wide range of professions in: project management, design offices, construction companies, research & development, methods.

The three proposed options within the program

- Civil Engineer, including several options;
- Structures & Architecture Engineer: the Structures & Architecture program is located at the interface of architecture and engineering, and mixes students and teaching from École des Ponts ParisTech and ENSAVT Marne-la-Vallée. It is a preparation for the double degree in engineering and architecture;
- Research Engineer: the courses of three research masters can be taken in the 3rd year: AMMS (Multi-scale approaches to materials and structures), MSROE (Mechanics of soils, rocks and structures in their environment) and SMCD (Materials sciences for sustainable construction). This course is intended for students who wish to pursue a career as an expert engineer or to continue their doctoral studies.



Semaine d'ouverture du département « Construire le courbe »
 © Patrick Sagnes - École des Ponts ParisTech.

Laboratoires partenaires et chaires

Research partnerships and chairs



GSA, École d'Architecture de Paris-Malaquais

Laboratoire Géométrie, Structure et Architecture.
Geometry, Structure and Architecture Laboratory.



IFSTTAR

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux.
The French Institute of Science and Technology for transport, development and networks.



LHSV

Laboratoire d'hydraulique Saint-Venant. Thématiques : mécanique des fluides appliquée à l'hydraulique et l'environnement (domaines fluvial, côtier et portuaire).
Saint-Venant Hydraulics Laboratory. Themes: fluid mechanics applied to hydraulics and the environment (rivers, coasts, and harbors).



Laboratoire Navier

Thématiques : recherches de base sur la mécanique et la physique des matériaux et des structures et leurs applications à la géotechnique, au génie civil, à la géophysique et à l'exploitation pétrolière.
Themes: basic research on the mechanics and physics of materials and structures, and their applications to geotechnics, civil engineering, geophysics, and the oil industry.

Les projets de fin d'études

Final Year Projects

Bâtiment • Buildings

GONZALEZ RODRIGUEZ AROA | État de l'art des procédés constructifs au Bénin et propositions d'améliorations
State of the art of construction processes in Benin and proposals for improvement

PONT ÉMILIE | Conception d'une couverture à double courbure en verre structurel
Double-curved structural glass design

Géotechnique • Geotechnics

ALVAREZ CUESTA MOISES | Méthodes de prise en compte du décollement des fondations lors du séisme
Foundation uplift analysis methods during seismic loading

BEN AMMAR KHADIJA | Intersections d'ouvrages souterrains : Ouvrage île-de-Monsieur - T3A, Grand Paris Express
Intersections of underground structures: Île-de-Monsieur - T3A, Grand Paris Express

BUI THI HONG NHUNG | Modélisation numérique aux éléments finis des boulons entièrement scellés avec Plaxis 2D
Finite element modeling of fully grouted rockbolts using the software Plaxis 2D

DE SOUZA LAGES KAIO | Les revêtements des tunnels en terrain poussant sous forte couverture
Study of a tunnel lining system for TBM in big overburden and squeezing grounds

FERRIGNO ANDREA | Comportement des sols congelés : Étude numérique et expérimentale
Frozen soils behavior: numerical and laboratory study

QUEDRAOGO MISSOM | Sols surconsolidés et ouvrages de soutènement
Retaining walls and overconsolidated soils

RIBEIRO LIMA VICTOR AUGUSTO | Modélisation numérique du comportement différé de tunnels profonds excavés en argilite cox
Numerical modelling of the long-term effects for structural design of deep tunnels in claystone

ROCHA BOTELHO LUCAS MAGNO | Calculs d'interaction sol-structure de fondations profondes sous séisme
Soil-Structure Interaction Evaluation for Deep Foundations under Seismic Loads

SHEN YUXIANG | La conception non-linéaire des fondations superficielles sous charge sismique
The non-linear design of shallow foundations under seismic loading

TATHI NGOC THUY | Choix du module de déformation en lien avec le pressiomètre
Choice of the elastic modulus in connection with the pressuremeter

Gestion et financement de projets • Project management and finance

ABOU CHEDID CALINE | Comment gérer les interfaces et les risques énergétiques des nouveaux équipements publics ?
How to manage interface and risk management for new Public Equipment?

CANELA GOMÀ IGNACIO | Analyse des risques pour la réalisation d'une galerie avec un micro-tunnelier
Risk analysis for a tunnel dug with a micro-TBM

DE BOIS AURÉLIE | Application du Lean aux études techniques sous-traitées
Application of Lean Engineering to subcontracted technical studies

DENG HAOZHU | Les interfaces au sein du projet Eole et le système correspondant pour les régler
The Interfaces in Eole and the corresponding system of regulation

DERKAOUI-HASSANI MOHAMMED AMINE | Intégrer le report modal dans la logistique des grands chantiers du BTP
Integrate modal shift into the logistics of major projects

JONCHERAY AUGUSTIN | Développement et mise en oeuvre d'une méthode d'analyse des risques
Risk assessment method development and implementation

MAKHLOUF KATIA | Le devenir d'une infrastructure stratégique : contraintes et opportunités
The future of a strategic infrastructure of a country

PIOTRAUT MICHAEL | Les facteurs de réussite et d'échec d'un grand projet : le cas d'EuropaCity
The success and failure factors of a major project: the case of EuropaCity

SAAD JOHNNY | Méga projet de construction : Faisabilité financière et partenariat public privé

Mega construction project: financial feasibility and public private partnership

SALESSE BASTIEN | Les concessions aéroportuaires :

compréhension des enjeux et du cadre réglementaire français
Airport concessions: Understanding the stakes and the French regulatory framework

Méthodes • Methods

BORISOVA NENOVA MARIA | Étude des méthodes de construction et calcul des ouvrages souterrains

Study of construction methods and design of underground structures

Modélisation et optimisation •

Modelling and optimization

ASSAD MEHDI | Création d'un outil d'analyse et d'optimisation de ponts en arc auto-ancrés

Design optimization of arc bridges

BRESSY CLAIRE | Hôtel de la Marine : verrière sous-tendue

Hôtel de la Marine : canopy

FAHLAOUI SARAH | Optimisation de forme multidisciplinaire pour des systèmes acoustiques et structurels

Multi-disciplinary Shape Optimization for Acoustic and Structural Systems

NOUREANU-BUCUR GEORGIANA | Dimensionnement des structures de connexion tunnel / rameau

Design of connecting structures between a Tunnel and a Cross Passage

Ouvrages d'art et infrastructures •

Engineering structures and infrastructures

CHU XUAN BACH | Conception d'un pont poussé en BFUP avec intégration des nouvelles technologies

Design of ILM bridge using UHPFRC

TORRES SERRANO JOSÉ MANUEL | Étude de la stabilité du trafic sur les ponts routiers. Influence du vent latéral

Study of traffic stability on road bridges. Influence of crosswinds

Performance énergétique et environnementale •

Energy and environmental performance

GÜEMES MARTÍNEZ MARTA | L'énergie éolienne offshore : Analyse des ressources et création d'un parc éolien

Offshore wind energy : Resource analysis and creation of a wind farm

LEFORT LUCIE | Validation des outils de simulation énergétique urbaine

Validation of urban energy modelling tools

SAAD SAMIR NASSER | Optimisation de l'efficacité énergétique des bâtiments

Optimization of the energy efficiency of buildings

Structures

ALEXAN CRISTINA | Éco-construction : réemploi d'éléments structurels

Eco-construction : reuse of structural elements

BELLANCOURT QUENTIN | L'optimisation structurelle dans le processus de conception

Structural optimization in the design process

BORRITS CHARLOTTE | Conception bas carbone et assemblages réversibles

Low carbon design and reversible connexions

CHAMPAGNE AURORE | Étude des panneaux CLT utilisés comme dispositifs de contreventement vertical

Study of CLT panels used as vertical bracing

COURT APOLLINE | Étude de faisabilité des structures adaptatives pour toitures à câbles

Feasibility study of adaptive cable roof structures

DI STEFANO GIULIA | Planchers mixtes acier-béton dans les bâtiments : recherche de la meilleure modélisation

Modelling optimization of composite slabs in buildings

GIRARDON CHLOÉ | Analyse de sensibilité d'une barrière souple de protection rocheuse

Sensitivity analysis of a flexible rock protection barrier

HÔ VINH QUYNH | Étude d'un choc accidentel sur une structure offshore en béton

Study of an accidental impact on an offshore concrete structure

JOUY AUGUSTIN | Développement des technologies de verre fin : exemple d'un pavillon

Development of thin glass technologies: example of a pavilion

LEROUGE MATHIEU | Rationalisation géométrique de structure par maillages XMesh

Geometric rationalization with XMeshes

MACAUDIÈRE MARION | Ponts en arche de type « network » - Suspentes pour longue portée

Design of Network Arch Bridge - Hangers for long spans

NÉRON LAURANE | Conception des ponts en structure mixte bois-béton

Design of timber-concrete composite bridges

NEVES ALVES FERREIRA GABRIEL | Le verre structurel

Structural Glass

NICOLAS MATÉO | Optimisation environnementale de structures

Environmental optimization of structures

NISTAL IGLESIAS PABLO | Analyse de faisabilité du béton
fibré pour les caissons portuaires
*Feasibility analysis of fiber-reinforced concrete for port
caissons*

PHAM TRUONG SON | Réponse sismique des réservoirs
Seismic response of reservoirs

SCHMIDT ANNA | Modélisation et analyse d'un plancher
mixte avec un comportement double collaborant
*Modelling and analysis of a mixed floor with double
composite behavior*

SIMONE ROBERTA | Structures en bois : modélisation de
l'anisotropie
Timber structures: modeling anisotropy

TENELEMA MUÑOZ FERNANDO JOSUE | Étude &
modélisation de la charpente et des assemblages de la
structure de la gare d'Orsay
*Modeling of the framework and assemblies of the Orsay
railway station*

THÉSÉ MATTHIEU | Conception et vérification
d'assemblages en verre structurel
Design of structural glass assemblies



Aroa GONZALEZ RODRIGUEZ

Élève ingénieure double diplôme
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos de l'Université polytechnique de Madrid (UPM), Espagne

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Association Saint Camille de Lellis (Bénin)

Tuteurs professionnels • *Organization Tutors* :
María Dolores GOMEZ PULIDO et Laurent RUS, ingénieurs

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Adélaïde FÉRAILLE, chercheuse, laboratoire Navier,
École des Ponts ParisTech



État de l'art des procédés constructifs au Bénin et propositions d'améliorations

Bénin • Afrique • Coopération

Contexte

Ce projet se déroule dans le cadre de la coopération internationale au développement. L'association Saint Camille de Lellis est responsable de l'accueil, du diagnostic et de la réinsertion des personnes atteintes de maladie mentale. Une assistance technique est fournie à l'association pour la conception et construction de son plus grand centre à ce jour, placé dans la région de Dassa-Zoumè, au Bénin. Un séjour d'un mois au Bénin faisait partie de la réalisation de ce projet.

Missions et objectifs

Le cœur du projet a été le suivi de la construction de deux bâtiments de l'association Saint Camille au Bénin. À partir des observations faites sur place et des données collectées, il a été possible de dresser un constat global de la situation du secteur de la construction de bâtiments dans le pays. L'objectif de ce travail était d'analyser la situation avec un regard critique et de proposer une série d'améliorations des procédés constructifs.

Résumé

Au cours de la première phase du projet, des aspects généraux ont été étudiés, tels que le contexte socio-économique dans lequel s'inscrit le projet, ainsi que les contraintes liées au climat et au terrain (topographie, géologie, géotechnique). Pendant le séjour au Bénin, une inspection visuelle du terrain a pu être réalisée et des échantillons de sol ont été prélevés. Face à l'impossibilité de réaliser des essais de caractérisation dans un laboratoire local, les échantillons ont été transportés pour être étudiés dans les laboratoires de l'Université polytechnique de Madrid.

Dans un deuxième temps, une analyse détaillée des matériaux et des techniques de construction disponibles au Bénin a été réalisée. Sur la base des observations sur place, une série de recommandations a été faite pour améliorer la sécurité, la qualité et la durabilité du travail effectué par l'association. En outre, l'aménagement de la parcelle du futur centre de Dassa et la conception d'un bâtiment et d'une route d'accès ont été réalisés.

Le projet couvre de nombreux aspects différents, dans le but de donner une vision globale de ce que signifie un projet de construction au Bénin, de ses difficultés et de ses opportunités. La partie la plus compliquée, mais aussi la plus intéressante, a été le manque d'informations et la nécessité de partir de zéro. Pouvoir passer un mois au Bénin et échanger avec toutes les personnes impliquées dans le projet a été un privilège et a enrichi énormément le résultat final.



Pliage des barres d'armature à la main © Aroa Gonzalez Rodriguez, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

State of the art of construction processes in Benin and proposals for improvement

Benin • Africa • Development Cooperation

Context

This is an international development cooperation project. The Saint Camille de Lellis association is responsible for the reception, diagnosis and reintegration of people with mental illness. Technical assistance is provided to the association for the design and construction of its largest facility to date, located in the Dassa-Zoumé region of Benin. A one-month stay in Benin was included in the realization of this project.

Missions and goals

The heart of the project was the follow-up of the construction of two buildings of the association in Benin. From the observations made on site and the data collected during these months, it was possible to draw up an overall picture of the situation of the building construction sector in the country. The aim of this work was to analyze the situation with a critical eye and to propose a series of improvements to the construction processes.

Abstract

During the first phase of the project, general aspects were studied, such as the socio-economic context in which the project takes place, and the constraints linked to climate and terrain (topography, geology, geotechnics). During the stay in Benin, a visual inspection of the terrain was carried out and soil samples were taken. As it was impossible to carry out characterization tests in a

local laboratory, the samples were transported to Madrid for study.

In a second phase, a detailed analysis of the materials and construction techniques available in Benin was carried out. On the basis of on-site observations, a series of recommendations were made to improve the safety, quality and durability of the work carried out by the association. In addition, the urban planning of the future facilities and the design of a building and an access road were carried out.

The project covers many different aspects, with the aim of giving a global vision of what a construction project in Benin means, its difficulties and its opportunities. The most complicated part, but also the most interesting, was the lack of information and the need to start from scratch. Being able to spend a month in Benin and exchange with all the people involved in the project was a privilege and highly enriched the result.



Chantier de l'association Saint Camille à Dassa
© Aroa Gonzalez Rodriguez, 2019.

Éléments de bibliographie

DIRECTION GÉNÉRALE DE L'ENVIRONNEMENT, 2011. *Deuxième communication nationale de la république du Bénin sur les changements climatiques*. Cotonou : Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme.

SYMASOL, 2016. *Gestion des eaux fluviales : guide pour la mise en œuvre de techniques alternatives* [en ligne]. SYMASOL. Disponible à l'adresse : http://www.symasol.fr/wp-content/uploads/2016/08/Brochure-SYMASOL_isbn_Web.pdf

S. Gbaguidi Victor, AÏSSÉ, Gbaguidi Gérard, EDMOND, Adjovi, KOSSI, Amey, MARCE, Zankpe et EUSTACHE, Alo-dehou, 2011. *Determination of dynamic pressures and establishment of wind-region maps in Benin* [en ligne], 2011, n° 2. Disponible à l'adresse : <https://cyberleninka.ru/article/n/determination-of-dynamic-pressures-and-establishment-of-wind-region-maps-in-benin> [Consulté le 6 avril 2020]



Émilien PONT

Élève ingénieur architecte

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Marc Mimram Ingénierie

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Razvan IONICA, directeur associé

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Jorge HIDALGO PEREZ SIMON, enseignant, TESS



Conception d'une couverture à double courbure en verre structural

Verre structural • Enveloppe • Verrière • Optimisation • Assemblage

Contexte

Ce projet de fin d'études questionne l'utilisation du verre comme matériau de structure dans la conception d'enveloppes horizontales. Souvent cantonnée à un simple rôle de remplissage, son utilisation peut être repensée dans le domaine des verrières. Ce travail de recherche s'appuie sur un projet développé au sein du bureau d'études Marc Mimram Ingénierie : le Hangar 105, situé sur les quais de la ville de Rouen.

Missions et objectifs

Garantissant une forte résistance mécanique, le verre a un potentiel sous-exploité jusqu'alors. Cependant, son comportement fragile à la rupture nécessite le recours à une conception approfondie pour choisir sa composition, sa géométrie et ses assemblages. L'éventail des solutions techniques permet d'envisager de nouveaux projets associant recherche et innovation. Ainsi, ce projet de fin d'études propose de ré-interroger la verrière par un cas pratique.

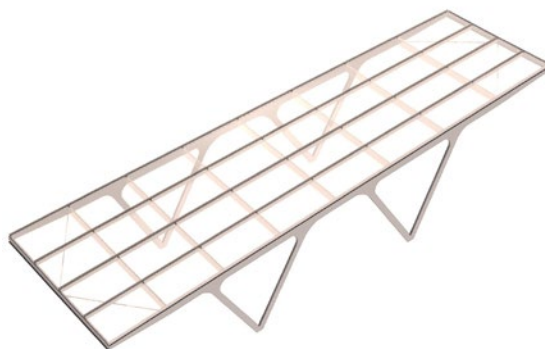
Résumé

Le verre est utilisé depuis plus de deux mille ans comme matériau de remplissage garantissant les apports lumineux et thermiques tout en assurant l'étanchéité à l'eau et à l'air. Auparavant réservé à ce rôle d'enveloppe, l'utilisation du verre est aujourd'hui réinterrogée comme élément de structure à part entière.

Garantissant une bonne résistance mécanique, une bonne durabilité et une forte transparence, ce matériau a un potentiel sous-exploité. Son comportement fragile nécessite des études approfondies et l'élaboration de détails d'assemblages sur mesure. Le choix d'une géométrie adéquate pour les éléments en verre est une

partie importante de la réflexion. La nature dimensionnelle des panneaux de verre est un paramètre décisif. L'étude des assemblages est également prépondérante dans la conception d'une enveloppe en verre structural. Les liaisons structurales entre le verre et sa superstructure doivent répondre à de nombreuses contraintes qui engendrent des questionnements dimensionnels, techniques et esthétiques.

Cette étude commence par réaliser un état de l'art et définir les caractéristiques spécifiques du verre. Le mémoire détaille ensuite les principes de calcul du verre structural en ce qui concerne les façades horizontales. La troisième partie récapitule les différentes technologies d'assemblage du verre structural. Enfin, une dernière partie détaille la conception du cas d'étude du Hangar 105, de l'optimisation globale de la géométrie jusqu'aux calculs des tolérances.



Module de verrière du Hangar 105 © Emilien Pont, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Double-curved structural glass design

Structural glass • Envelope • Canopy • Optimization • Connexion

Context

This final year project examines the use of glass as a structural material in the design of horizontal envelopes. Often confined to a simple filling role, its use can be rethought in the field of glass roofing. This research work is based on a project developed within the Marc Mimram Ingénierie design office: Hangar 105, located on the quays of the city of Rouen.

Missions and goals

Guaranteeing high mechanical resistance, glass has a potential that has been under-exploited until now. However, its brittle behaviour at breakage requires in-depth design to choose its composition, geometry and assemblies. The range of technical solutions makes it possible to envisage new projects combining research and innovation. Thus, this paper examines the glass roof through a practical case.

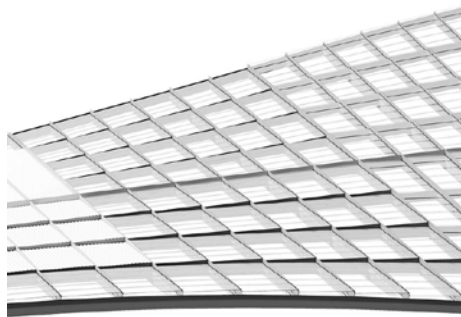
Abstract

Glass has been used for more than two thousand years as a filling material that guarantees light and heat gains while ensuring water and air tightness. Previously reserved for this role as an envelope, the use of glass is now being re-examined as a structural element in its own right.

Guaranteeing good mechanical strength, durability and transparency, this material has an under-exploited potential. Its fragile behaviour requires in-depth studies and the development of tailor-made assembly details. Choosing the right geometry for glass elements is an important part

of the consideration. The dimensional nature of the glass panels is a decisive parameter. The study of the connections is also important in the design of a structural glass envelope. The structural connections between the glass and its superstructure have to meet numerous constraints that give rise to dimensional, technical and aesthetic questions.

This study begins by carrying out a state of the art and defining the specific characteristics of glass. Afterwards, the final year project details the calculation principles of structural glass for horizontal façades. The third part recapitulates the different assembly technologies of structural glass. Finally, a last part details the design of the Hangar 105 case study, from the overall optimization of the geometry to the calculation of tolerances.



Discretisation par facettes planes © Emilien Pont, 2019.



Moises ALVAREZ CUESTA

Élève ingénieur double diplôme
ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos,
Universidad de Cantabria, Santander, Espagne

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Géodynamique & Structure

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Charisis CHATZIGOGOS, chef du pôle R&D

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Alain PECKER, enseignant, École des Ponts ParisTech



Méthodes de prise en compte du décollement des fondations lors du séisme

Interaction sol-structure non-linéaire • Décollement des fondations •
Méthode hybride Laplace-Temps

Contexte

Dans le cas de structures critiques à fortes exigences de sûreté, il est nécessaire de quantifier la réponse dynamique lors du séisme avec un niveau de précision élevée, ce qui oblige à considérer des aspects comme l'interaction sol-structure (ISS), la non-linéarité du sol et le décollement des fondations au niveau de l'interface sol-structure.

Missions et objectifs

Les objectifs de ce projet de fin d'études sont l'exploration de la pertinence et du conservatisme de la méthode hybride Laplace-Temps, développée dans le contexte des études d'interaction sol-structure en dynamique non-linéaire au sein des méthodes de couplage FEM-BEM. L'intérêt est porté sur la non-linéarité géométrique de type décollement, qui peut être développée le long de l'interface entre le sol et le radier.

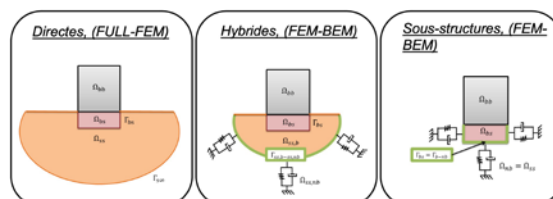
Résumé

La prise en compte des non-linéarités dans le domaine du sol et dans l'interface fondation-sol, parmi d'autres effets, peut conduire à une diminution de l'appel à ductilité dans la superstructure et à la réduction de pseudo-accelérations spectrales transférées à la superstructure. Le fait de négliger les non-linéarités qui sont développées au niveau de la fondation peut conduire à des résultats conservatifs.

Une modélisation de l'ISS non-linéaire implique la modélisation aux éléments finis de la partie du sol autour de l'ouvrage étudié qui est susceptible de se plastifier, ce qui conduit à un coût de calcul important. Une solution à ce

problème est obtenue avec les méthodes de sous-structuration ou décomposition spatiale en sous-domaines (borné et non-borné). Les modèles de couplage FEM-BEM constituent donc une alternative très attractive et performante, mais généralement limitée aux problèmes linéaires du fait de la résolution fréquentielle des équations d'équilibre. Cependant, des développements récents, dont la méthode hybride Laplace-Temps, ont permis d'exprimer dans le domaine temporel, la relation force-déplacement dépendante de la fréquence de l'interface FEM-BEM.

Les résultats obtenus via la méthode hybride sont comparés avec la méthode de tapis de ressorts et avec la méthode linéaire fréquentielle de couplage. Les analyses sont menées pour un bâtiment industriel générique, suffisamment simple pour permettre l'extrapolation des résultats acquis vers un type de structures plus large. La validité de l'approche hybride Laplace-temps est étudiée vis-à-vis de l'étendue de la zone décollée, les spectres transférés en quelques points caractéristiques de l'ouvrage ainsi que la demande de ferrailage sur les éléments structurels principaux.



Méthodes de modélisation de l'ISS selon la décomposition spatiale du domaine © Moisés Alvarez Cuesta, 2019.

Foundation uplift analysis methods during seismic loading

Nonlinear soil-structure interaction • Foundation uplift •
Hybrid Laplace-Time method

Context

The analysis of critical structures subjected to high safety requirements requires us to quantify the seismic response with a high level of accuracy. Thus, aspects like soil-structure interaction (SSI), soil non-linearity and foundation uplift at the soil-structure interface must be considered.

Missions and goals

This Master's degree thesis aims to explore the application of the hybrid Laplace-Time method in nonlinear dynamic soil-structure interaction studies. This method belongs to the FEM-BEM (finite elements - boundary elements) coupling approach and allows us to consider different sources of nonlinearity in the bounded domain (FEM domain) of the coupled system. For the applications presented hereafter, the main goal is to explore foundation uplift, a type of geometric nonlinearity, which is developed at the soil-foundation interface in the case of shallow foundations (mat foundations).

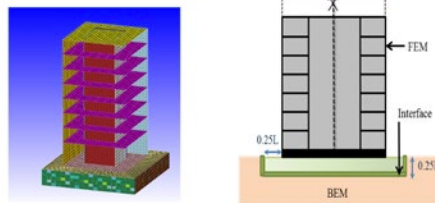
Abstract

Taking into account non-linearities in the soil domain and in the foundation-ground interface, among other effects, can lead to a decrease in the ductility demand in the superstructure and a reduction in spectral accelerations transferred to the superstructure. The effect of neglecting the non-linearities that are developed at the foundation level may lead to conservative results.

A non-linear ISS analysis implies the finite element modeling of the part of the soil around the studied structure that is likely to yield, which leads to a significant computational cost. Sub-structuring or

spatial decomposition methods allow for reducing the size of the numerical model. FEM-BEM coupling models are therefore a very attractive and efficient alternative, but generally limited to linear problems due to the frequency resolution of the equilibrium equations. However, recent developments, such as the hybrid Laplace-Time method, have made it possible to express the frequency-dependent force-displacement relationship of the FEM-BEM interface in the time domain.

The results obtained using the hybrid method are compared with the conventional method for taking into account the soil-structure interaction, which is the spring mat method, and with the linear frequency coupling method. The analysis is carried out for a generic industrial building, simple enough to allow for extrapolation of the acquired results to a wider type of structures. The validity of the Laplace-time hybrid approach is studied with respect to the extent of the uplift zone, the spectra transferred at a few characteristic points of the structure and also the reinforcement demand on the main structural elements.



Modélisation hybride. À gauche modèle aux éléments finis du domaine borné (structure, sol proche et interface) et à droite schéma des domaines borné (FEM) et non-borné (BEM)
© Moisés Alvarez Cuesta, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Khadija BEN AMMAR

Élève ingénieure double diplôme
École nationale d'ingénieurs de Tunis (ENIT), Tunisie

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
GEOS Ingénieurs Conseils

Tutrice professionnelle • *Organization Tutor* :
Sylvie BRETTELLÉ, directrice scientifique

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Jean SULEM, chercheur, laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech



Intersections d'ouvrages souterrains

Ouvrage île-de-Monsieur - T3A, Grand Paris Express

Fibres optiques • Rayleigh • Modélisations • Puits • Grand Paris Express

Contexte

Le dimensionnement des structures reste difficile à mener analytiquement dans le cadre des intersections d'ouvrages souterrains. Pour le puits support expérimental de cette étude, une auscultation par fibres optiques est mise en place. Des modélisations 2D et 3D sont réalisées afin de comparer les résultats avec les auscultations et de rendre compte de l'impact d'un percement dans un puits en paroi moulée.

Missions et objectifs

Modélisation 3D de l'ouvrage sur Plaxis afin de comparer les résultats aux auscultations par fibres optiques et recalage de certains paramètres, notamment le module du béton et la raideur cylindrique de la paroi sur les modèles 2D (calcul aux coefficients de réactions et calcul en éléments finis).

Résumé

Les intersections d'ouvrages souterrains constituent des situations hautement tridimensionnelles. La recherche de solutions analytiques sur des problèmes tridimensionnels est quasiment impossible et le recours à des modélisations éléments finis 3D est limité, car le temps nécessaire à la réalisation de tels modèles et les contraintes numériques associées restent très importants. En outre, les modifications structurelles et de phasage sont extrêmement fréquentes pendant la phase d'études et d'exécution d'un ouvrage, ce qui complique encore l'usage des modélisations 3D. En pratique, on a souvent recours

à des études sur des modèles bidimensionnels qui sont bien plus faciles à traiter, aussi bien sur le plan analytique que sur le plan numérique. La base expérimentale de ce projet est le chantier du T3A de la ligne 15 sud du Grand Paris. Sur ce projet, l'intersection étudiée se fait entre le puits de départ du tunnelier de forme trilobique en parois moulées et le tunnel au tunnelier. L'analyse du comportement de ces intersections passe par une auscultation reposant principalement sur des capteurs distribués à fibres optiques. Celle-ci est mise en œuvre dans la paroi moulée du puits. Les résultats de cette auscultation devaient servir de point de comparaison et de référence à des modélisations éléments finis 3D complètes. La combinaison de l'auscultation et de la modélisation 3D devait permettre une compréhension plus fine des phénomènes mis en jeu.



Réalisation du béton de propreté du radier de l'ouvrage OA-P13
© Khadija Ben Ammar.

Intersections of underground structures

Île-de-Monsieur - T3A, Grand Paris Express

Fibre optics • Rayleigh • Modelling •
Diaphragm walls • Grand Paris Express

Context

The dimensioning of structures remains difficult to conduct analytically for the intersections of underground structures. For the experimental support well of this study, a monitoring by optical fibers is set up. 2D and 3D models are carried out in order to compare the results with the monitoring and in order to assess the impact of a hole in a diaphragm wall.

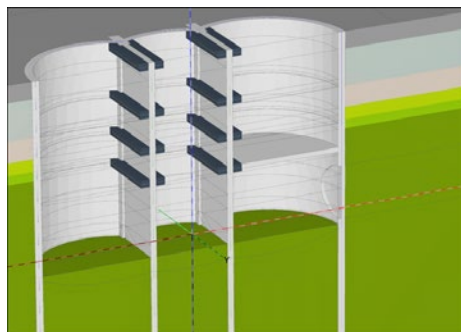
Missions and goals

3D modelling of the structure on Plaxis in order to compare the results to auscultations by optical fibers and registration of certain parameters, in particular the concrete modulus and the cylindrical stiffness of the wall on 2D models (calculation using reaction coefficients and finite element calculation).

Abstract

Intersections of underground structures are highly three-dimensional situations. The search for analytical solutions to three-dimensional problems is almost impossible and the use of 3D finite element models is limited, as the time required to produce such models and the associated numerical constraints remain considerable. In addition, structural and phasing modifications are extremely frequent during the design and execution phase of a structure, which further complicates the use of 3D models. In practice, studies are often carried out on two-dimensional models, which are much easier to process, both analy-

tically and numerically. The experimental basis for this project is the T3A construction site for line 15 south of Greater Paris. On this project, the studied intersection is between the starting shaft of the tunnel boring machine with its trilobed shape with moulded walls and the tunnel with the tunnel boring machine. Analysis of the behaviour of these intersections is carried out by means of auscultation based mainly on distributed fibre-optic sensors. This is carried out in the diaphragm wall of the shaft. The results of this survey were to serve as a point of comparison and reference for complete 3D finite element modelling. The combination of monitoring and 3D modeling was intended to provide a more detailed understanding of the phenomena involved.



Modèle PLAXIS 3D de l'ouvrage © Khadija Ben Ammar, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Thi Hong Nhung BUI

Élève ingénieure double diplôme
École supérieure de génie civil de Hanoï, Vietnam

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
SNCF Réseau

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Lionel CAUSSE, docteur-ingénieur d'études

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pierre DELAGE, enseignant, École des Ponts ParisTech



École des Ponts
ParisTech



Modélisation numérique aux éléments finis des boulons entièrement scellés avec Plaxis 2D

Boulons entièrement scellés • Embedded beam row • Interface • Frottement latéral

Contexte

Les travaux de confortement et de dégagement de gabarit des tunnels ferroviaires anciens demandent souvent l'utilisation de boulons entièrement scellés (BES). Il est nécessaire de bien les prendre en compte dans les études numériques. Ce projet porte sur l'établissement d'un modèle numérique aux éléments finis (EF) pertinent des BES dans Plaxis 2D.

Missions et objectifs

- Modélisation numérique aux EF avec Plaxis 2D des BES qui sont utilisés lors des travaux d'abaissement de la plate-forme d'un tunnel géré par la SNCF en utilisant trois modèles de support retenu : « Geogrid + interface element » (G+I) ; « Plate + Interface element » (P+I) et « Embedded beam row » (EBR) ;
- évaluation de l'influence de la prise en compte de la rigidité portée par le corps du coulis des BES sur le comportement global de ces éléments ;
- attention particulière sur la modélisation des interfaces barre/scellement et scellement/terrain des BES en utilisant les éléments « EBR ».

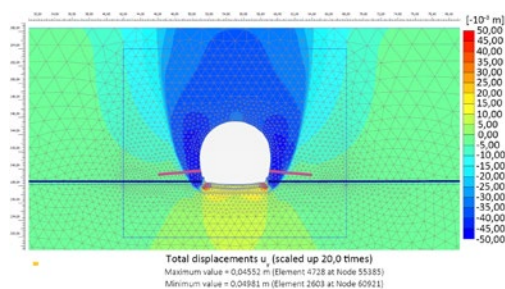
Résumé

Après avoir réalisé de nombreux modèles, j'ai constaté qu'afin de pouvoir simuler de façon réaliste les BES dans le logiciel Plaxis 2D, les éléments « EBR » permettent de donner des résultats plus détaillés en termes de déplacement relatif à l'interface et aussi d'efforts dans les boulons par rapport aux combinaisons « G+I » et « P+I ». Les éléments « EBR » sont en mesure de caractériser les frotte-

ments latéraux mobilisables et mobilisés à l'interface afin d'évaluer si la rupture scellement/terrain se produit.

Les résultats montrent que, dans le but de vérifier si la barre des BES est bien dimensionnée, il vaut mieux prendre en compte la raideur du corps de scellement.

La simulation de la résistance de l'interface scellement/terrain par le modèle « Layer dependent » semble plus dimensionnante pour les BES par rapport au modèle « Linear » dans lequel la résistance de l'interface le long des boulons est considérée constante. Au niveau du frottement latéral limite à déclarer dans ces deux modèles, j'ai pu observer qu'en deçà d'une telle limite de la contrainte en cisaillement de limite de l'interface scellement/terrain, plus cette dernière est élevée, plus l'efficacité du renforcement par BES lors des travaux est importante.



Tassement du sol lors des travaux d'abaissement de la plateforme avec le renforcement par deux lignes de BES aux pénétrations © Thi Hong Nhung Bui, 2019.

Finite element modeling of fully grouted rockbolts using the software Plaxis 2D

Fully grouted rockbolts • Embedded beam row • Interface • Lateral friction

Context

The reinforcement and clearance works of old railway tunnels often require the use of fully grouted rockbolts (FGR). It is necessary to take these into account in numerical studies. The aim of this final year project is to study the establishment of a finite element (FE) numerical model for FGR using the software Plaxis 2D.

Missions and goals

- Numerical modelling at the RUs with Plaxis 2D of the BES used during the lowering of the platform of a tunnel managed by the SNCF using three support models selected: "Geogrid + interface element" (G+I); "Plate + Interface element" (P+I) and "Embedded beam row" (EBR);
- influence of the rigidity carried by the body of the FGR on the overall behavior of these FGR;
- particular attention paid to the modeling of the bar/grout and grout/soil interfaces of the FGR by using the "EBR" elements.

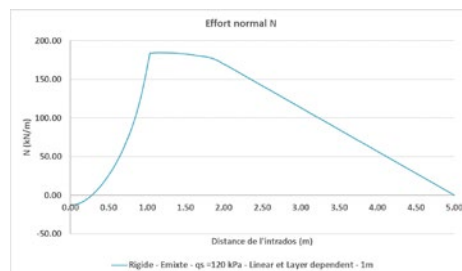
Abstract

After making many models, I found that in order to realistically simulate the BES in the Plaxis 2D software, the "EBR" elements give more detailed results in terms of relative displacement at the interface and also of bolt forces compared to the "G+I" and "P+I" combinations. The "RBE" elements

are able to characterize the mobilizable and mobilized lateral friction at the interface in order to evaluate whether the seal/field failure occurs.

The results show that, in order to check if the BES bar is properly dimensioned, it is better to take into account the stiffness of the seal body.

The simulation of the resistance of the grout/soil interface by the "Layer dependent" model seems more dimensioning for FGR compared to the "Linear" model in which the resistance of the interface along the bolts is considered constant. With respect to the lateral friction limit to be declared in these two models, I have observed that below such a limit of the shear stress limit of the sealing/field interface, the higher the latter is, the greater the efficiency of the reinforcement by BES during the work.



Exemple pour « Effort normal N des boulons » © Thi Hong Nhung Bui, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

AFTES, 2018. Conception et Guide de dimensionnement du boulonnage radial en tunnel. Recommandations GT30RF. AFTES : 97 p.



Kaio DE SOUZA LAGES

Élève ingénieur double diplôme
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brésil
Master Mécanique des sols, des roches et des ouvrages
dans leur environnement (MSROE), UPEM et École des Ponts ParisTech
Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
BIEP - Eiffage Infrastructures

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Éric MATHIEU, chef de secteur Géotechnique & Ouvrages souterrains

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Jean SULEM, enseignant, École des Ponts ParisTech



Les revêtements des tunnels en terrain poussant sous forte couverture

Terrains poussants • Revêtement des tunnels en roche dure • Vide annulaire •
Matériau de bourrage • Tunnels

Contexte

Les tunnels excavés en milieu rocheux dur présentent un vide annulaire important qui doit être rempli par un matériau de bourrage pour assurer le comportement d'anneau des voussoirs le plus proche possible de la sortie de jupe. Les solutions classiques visent un matériau rigide qui possède un angle de talus naturel important, de telle sorte que le remplissage empêche des moments fléchissants locaux importants dus à un défaut d'appui, qui sont la cause des fissurations souvent observées en sortie de jupe.

Missions et objectifs

Un matériau de bourrage compressible doit apporter à la fois un blocage quasi-immédiat de l'anneau en sortie de jupe, présentant une résistance adéquate pour s'opposer aux efforts qui peuvent y apparaître, et un comportement de matériau compressible à long terme, permettant l'utilisation du vide annulaire de quelques décimètres pour l'encaissement des convergences du terrain et le soulagement des efforts sur les voussoirs. Un exemple de matériau de bourrage compressible a été étudié.

Résumé

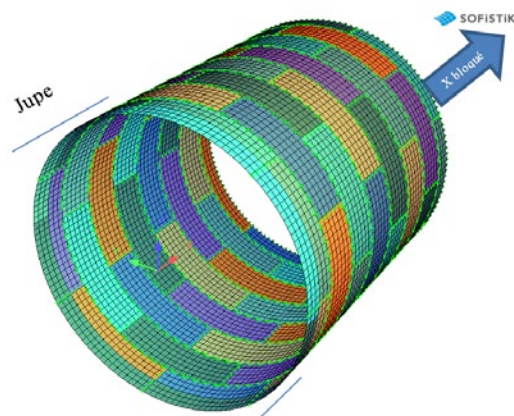
Nous avons justifié par le biais de calculs plastiques, simplifiés avec des formules analytiques et aux éléments finis, l'utilisation d'un tel matériau de bourrage et quantifié les avantages que ce matériau apporterait au niveau des efforts et déplacements sur le voussoir dans le cas du comportement en sortie de jupe et à long terme.

Un premier modèle en coque 3D a été fait pour étudier la situation en sortie de jupe avec des ressorts non linéaires qui simulent le comportement des connecteurs utilisés, qui jouent un rôle majeur pendant cette étape de la construction du tunnel.

Un modèle de convergence-confinement a été réalisé afin de donner un premier ordre de grandeur des gains en pression d'équilibre du système avec le matériau de bourrage compressible choisi par rapport aux systèmes classiques et à un autre système de bourrage compressible.

Ensuite, avec un modèle linéaire élastique du matériau, ce calcul a été confronté à ceux d'un modèle aux éléments finis qui permet la prise en compte de la géométrie du vide annulaire et des possibles états de contraintes anisotropes sur place pour l'analyse en détail des déplacements du système et de la vérification de l'inexistence de déplacements importants des voussoirs dans le vide annulaire.

Enfin nous avons modélisé les possibles effets sur le voussoir de ce système de bourrage compressible dans le cas d'une forte anisotropie locale, comme une schistosité dans un terrain poussant, par exemple.



Modèle en sortie de jupe aux éléments finis type coque et ressorts plastiques © Kaio De Souza Lages, 2019.

Study of a tunnel lining system for TBM in big overburden and squeezing grounds

Squeezing grounds • Lining • Annular gap Backfilling material • Tunnels

Context

The usage of TBM tends to be extended for big overburden and squeezing ground situations.

In these cases, the tunnel presents a bigger annular void that must be filled by a backfilling material as close as possible to the front. Also, in order to deal with big ground pressures, this backfilling material can use the annular void to reduce ground pressures.

Missions and goals

A backfilling material that would overcome both of these issues is a material that allows an immediate block of the lining system in the short term, having adequate resistance to face the efforts, and a compressive behavior in the long term, allowing the use of the annular void, which has often a thickness of a few decimeters, to relief the efforts on the segment by allowing the ground to converge.

We study the example of a compressive backfilling material with simplified FEM in order to analyze the system behavior in short and long term.

Abstract

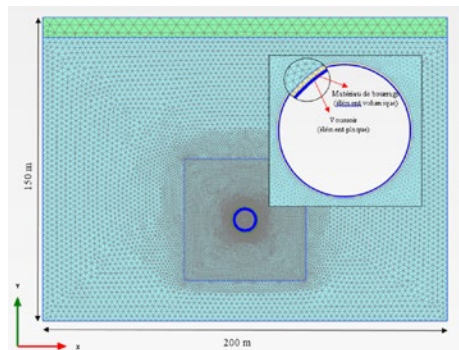
A 3D shell model simulated the situation in the short term with plastic springs that consider the nonlinear behavior of the segment connectors.

A Convergence-Confinement Model was used to provide a first order of magnitude of the equi-

librium pressure gains by using the compressive backfilling system over conventional backfilling systems and another compressive system.

Then, this result was compared with those of a finite element model which considers an elastic behavior for the compressive backfilling material and the anisotropy of the geometry of the annular void and the possible anisotropic states of constraints and local anisotropies, allowing the analysis in detail of the displacements and efforts in the system.

Finally, we simulated with a simplified 2D model the possible effects on the segment of this compressible lining system in the case of a strong local anisotropy, such as a schistosity in a squeezing ground.



Modèle sous confinement aux éléments finis 2D et loi de comportement plastique © Kaio De Souza Lages, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

BILLIG, B., GIPPERICH, C., WULFF, M. et SCHAAB, A., 2008. Ausbausysteme für den maschinellen Tunnelbau in druckhaftem Gebirge. *Taschenbuch für den Tunnelbau*, 2008, vol. 32, pp. 223–262.

IASIELLO, Cosimo, CALDENTY, Alejandro Pérez et GROLI GIANCARLO, 2017. Analysis of TBM Lining Rings under Lack of Gap Fill: Practical Case of Ovalization and Crack Patterns. *Journal of Performance of Constructed Facilities* [en ligne], 2017, vol. 31, n° 4. [Consulté le 1^{er} avril 2020]. DOI 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001010

KLAPPERS, C., GRUEBL, F. et OSTERMEIER, B., 2006. Structural analyses of segmental lining – coupled beam and spring analyses versus 3D-FEM calculations with shell elements. *Tunnelling and Underground Space Technology* [en ligne], 2006, vol. 21, n° 3-4, p. 254-255. [Consulté le 1^{er} avril 2020].



Andrea FERRIGNO

Élève ingénieur double diplôme
Faculté d'ingénierie de l'université de Rome II « Tor Vergata », Italie
Master Mécanique des sols, des roches et des ouvrages
dans leur environnement (MSROE), UPEM et École des Ponts ParisTech

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Anh Minh TANG, directeur de recherche

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Jean-Michel PEREIRA, adjoint au président du département Génie
civil et construction, École des Ponts ParisTech



École des Ponts
ParisTech

Comportement des sols congelés

Étude numérique et expérimentale

Sols congelés • Modèle couplé THM • Sensibilité au gel • Supercooling • Hystérésis

Contexte

La congélation naturelle des sols et la congélation artificielle utilisée pour l'imperméabilisation et le renforcement provisoire des sols lors de la réalisation d'ouvrages souterrains peuvent engendrer de nombreux problèmes environnementaux ou d'ingénierie à cause des déformations produites lors du gel et du dégel de l'eau interstitielle. La compréhension de la physique des phénomènes qui gouvernent le comportement des sols congelés à l'aide d'essais de laboratoire est nécessaire pour développer des modèles de comportement fiables et pour optimiser les techniques de congélation artificielle des sols.

Missions et objectifs

- Étude et implémentation d'un modèle de comportement THM existant pour les sols congelés afin d'en analyser les potentialités et les limites, en proposant d'éventuelles possibilités d'amélioration ;
- développement des connaissances du phénomène de congélation/décongélation de l'eau dans les milieux poreux et du comportement mécanique des sols congelés à l'aide d'essais de laboratoire, en focalisant notre analyse sur l'effet de la granulométrie sur la sensibilité au gel.

Résumé

Ce projet de fin d'études, réalisé au sein du laboratoire Navier, porte sur l'étude du comportement des sols congelés à l'aide de simulations numériques et d'essais de laboratoire.

Nous avons développé une formulation thermo-poro-élastoplastique d'un modèle de comportement pour les sols congelés existant, qui a ensuite été implémentée avec un algorithme d'intégration de type explicite dans un langage MATLAB. L'utilisation de ce modèle nécessite l'évaluation de nombreux paramètres dont certains ne sont pas communs dans l'ingénierie géotechnique.

Nous avons proposé une méthode de calibration des paramètres à l'aide d'essais de laboratoire à température contrôlée. Le modèle a été validé à partir de la simulation d'essais issus de la littérature et il est capable de simuler les principales caractéristiques du comportement des sols congelés.

Nous avons réalisé des essais de congélation/décongélation et des essais triaxiaux à température contrôlée sur différents mélanges de sable de Fontainebleau et kaolinite Speswhite. Les résultats des essais nous montrent que la température de congélation de l'eau interstitielle (inférieure à 0° C) et la teneur en glace se réduisent avec l'augmentation de la fraction fine, pourtant la sensibilité au gel augmente avec la fraction de kaolinite dans le sol. Le processus de congélation/décongélation est caractérisé par un phénomène d'hystérésis. La présence d'eau liquide dans un sol congelé a une grande influence sur ses propriétés hydrauliques, thermiques et mécaniques.



Cellule triaxiale à température contrôlée de l'université de Rome II « Tor Vergata » © Andrea Ferrigno, 2019.

Frozen soils behavior

Numerical and laboratory study

Frozen soils • Coupled THM model • Frost susceptibility • Supercooling • Hysteresis

Context

Natural ground freezing in cold regions and artificial freezing used for temporary improvement of soil strength and control of ground water in underground workings can result in environmental and engineering problems because of the deformations due to freezing and thawing of soil water. A proper understanding of physical phenomena governing behavior of frozen soils using laboratory tests is necessary for the development of reliable prediction models and the successful implementation of frozen ground engineering.

Missions and goals

- Study and implementation of existing THM constitutive model for frozen soils in order to analyse its potentials and limitations, proposing possible improvements;
- development of knowledge about freezing/thawing of water in a porous medium and about mechanical behavior of frozen soils using laboratory tests, by focusing our study on the influence of soil texture on frost susceptibility of frozen soils.

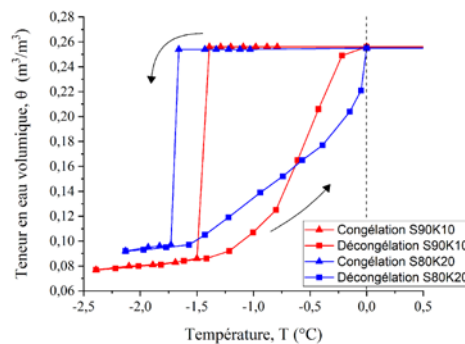
Abstract

This final year project, done at Navier laboratory, concerns numerical and experimental laboratory investigation study about frozen soils behaviour.

A thermo-poro-elastoplastic formulation of an existing constitutive model for frozen soils was developed and implemented with an explicit integration algorithm in MATLAB programming language. The constitutive model requires several

parameters of which quite a few are not very common to geotechnical engineering. We proposed a strategy to obtain model parameters by temperature-controlled laboratory soil tests. The model was validated against available results and it can represent many of the fundamental features of frozen soils behavior.

We performed freezing/thawing tests and temperature-controlled mechanical tests with an advanced triaxial apparatus on different mixtures of Fontainebleau sand and Speswhite kaolinite clay. Results show that freezing temperature of water in soil (below 0°C) and the amount of ice in frozen soil decrease with increasing fine content, therefore frost susceptibility increases with increasing kaolinite fraction. Freezing/thawing process is characterised by a hysteretic behaviour. The presence of water in frozen soils affects hydraulic, thermal, and mechanical properties of frozen soil.



Évolution de la teneur en eau volumique en fonction de la température issue des essais de congélation/décongélation réalisés sur différents mélanges de sable de Fontainebleau et kaolinite Speswhite © Andrea Ferrigno, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

AUKENTHALER, M., 2016. *The frozen & unfrozen barcelona basic model. A verification and validation of a new constitutive model.* PhD Thesis report. TU Delft and Plaxis bv, Delft.

ZHANG, L., MA, W. et YANG, C., 2015. Pore water pressure changes of supercooling and ice nucleation stages during freezing point testing. *Géotechnique Letters* [en ligne], 2015, vol. 5, n° 1, pp. 39-42.. DOI 10.1680/geolett.14.00109 [Consulté le 6 avril 2020].

TIAN, Huihui, WEI, Changfu, WEI, Houzhen et ZHOU, Jiazuo, 2014. Freezing and thawing characteristics of frozen soils: Bound water content and hysteresis phenomenon. *Cold Regions Science and Technology* [en ligne], 2014, vol. 103, pp. 74-81. DOI 10.1016/j.coldregions.2014.03.007. [Consulté le 6 avril 2020].



Missom OUEDRAOGO

Élève ingénieur licence
Master Mécanique des sols, des roches et des ouvrages
dans leur environnement (MSROE), UPEM et École des Ponts ParisTech

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Egis Structure & Environnement

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Dini MAHMUTOVIC, ingénieur d'études

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Jean-Michel PEREIRA, chercheur, laboratoire Navier,
École des Ponts ParisTech



Sols surconsolidés et ouvrages de soutènement

Butée • Soutènement • Écrouissage • Rupture • Résistance au cisaillement

Contexte

Les écrans de soutènement sont habituellement dimensionnés par la méthode aux modules de réactions ou bien par des calculs éléments finis. Les méthodes de calculs couramment utilisées ne considèrent pas le risque d'anti-écrouissage, encore appelé « radoucissement », qu'on peut observer dans certaines circonstances, alors que de nombreuses lois de comportement rendent compte de ce phénomène (Cam-Clay).

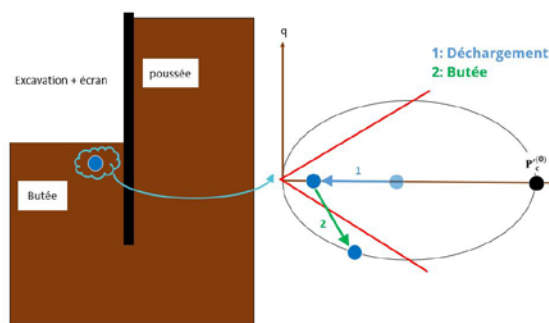
Missions et objectifs

- Faire une revue bibliographique sur les méthodes de dimensionnement des soutènements en recherchant particulièrement les méthodes qui prennent en compte le risque de radoucissement ;
- faire une simulation numérique pour étudier l'influence de différents paramètres sur le phénomène de radoucissement ;
- proposer une méthodologie de calcul pour prendre en compte ce risque.

Résumé

Les écrans de soutènement sont des structures qui fonctionnent par équilibre entre la poussée d'un côté et la butée de l'autre. Selon les recommandations des différentes normes, le dimensionnement se fait par équilibre entre butée à la rupture et poussée à la rupture. Cependant, lorsque les écrans sont mis en place dans des sols surconsolidés, les états de rupture peuvent évoluer. Localement, on assiste une dégradation de la résistance au cisaillement, qui est matérialisée dans certaines lois de comportement comme la loi de Cam-Clay, sous forme d'anti-écrouissage. Cette étude présente le mécanisme

d'anti-écrouissage, encore appelé « radoucissement » et les circonstances dans lesquelles il se produit. L'anti-écrouissage ou radoucissement est un phénomène local qui peut conduire à la ruine de l'ouvrage. L'objectif de l'étude est d'apporter des pistes de réflexion sur la prise en compte de ce risque d'anti-écrouissage et surtout de son potentiel impact sur la stabilité globale de l'ouvrage. On s'est posé la question de savoir dans quelles circonstances cette dégradation locale pouvait aboutir à la rupture par défaut de butée. La complexité analytique du problème nous a rapidement poussé à nous tourner vers l'outil numérique. Sous le logiciel de calcul FLAC3D, nous avons modélisé et simulé des situations simples qui ont abouti à des ruptures par défaut de butée. Les premiers résultats sont présentés et permettent de tirer des éléments qualitatifs. Il convient cependant de prendre ces premiers résultats avec des pincettes car notre modèle actuel est encore loin d'être transposable à des situations réelles.



Chemin de butée © Missom Ouedraogo, 2019.

Retaining walls and overconsolidated soils

Mechanical stop • Retaining wall • Hardening •
Failure • Shear strength

Context

Retaining walls are usually designed using finite elements methods or soil-structure interaction methods. In such methods, the phenomenon of softening that can be observed in certain situation is not automatically considered even if several models deal with this phenomenon.

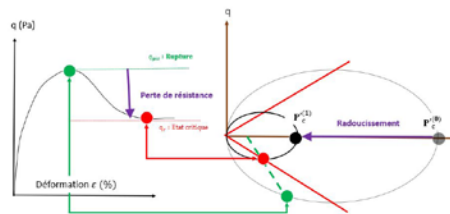
Missions and goals

- Make a review of existing methods that consider a risk of softening;
- develop a numerical model to study the effect of different parameters on the softening process;
- propose a method that deals with the risk of softening.

Abstract

Retaining walls are structures used in order to avoid or reduce horizontal displacement on soils when an excavation is made. In accordance with the European standards, they are designed using limit analysis methods. In such methods, the behavior of the material is not taken into account. This can lead to problems, particularly when the wall is constructed in over consolidated soils. In fact, in such kinds of soils, critical states based on models like the Cam-Clay model predicts a softening behavior in some loading cases. In this paper, we study the softening process and we link it to soils' shear strength reduction. This softening is a local phenomenon and so is the associated shear

strength reduction. But a great reduction in one point can lead to loss of equilibrium and ruin the structure. The objective of the study is to provide ideas on how to take into account this risk of anti-crushing and especially its potential impact on the overall stability of the structure. To do so, we try to determine some conditions in which there is softening that may lead to the failure. The complexity of the Cam-Clay's law makes it difficult to deal with analytically. That's why we rely on a numerical model. In this paper, a first simplified model is presented and leads to qualitative results that can give a first idea of the phenomenon process. We have to mention that this is a first step and so the conclusions must be taken with caution. Next, we will work to ensure that the model can be transposed to real-life situations.



Comportement radoucissant © Missom Ouedraogo, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Victor Augusto RIBEIRO LIMA

Élève ingénieur double diplôme
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brésil
Master Mécanique des sols, des roches et des ouvrages
dans leur environnement (MSROE), UPEM et École des Ponts ParisTech

Promotion 2016

Mission recherche réalisée à
Terrasol

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Sébastien BURLON, directeur

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Yu Jun CUI, chercheur, laboratoire Navier,
École des Ponts ParisTech



Modélisation numérique du comportement différé de tunnels profonds excavés en argilite cox

Projet CIGEO • Galeries de stockage • Argilites du Callovo-Oxfordien •
Lois de fluage • Code FLAC 3D

Contexte

Les approches de calculs basées sur la loi de Lemaître sont actuellement utilisées pour dimensionner les structures souterraines du laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne (LSMHM) et du projet CIGEO. Néanmoins, ces approches ne sont pas encore capables de reproduire fidèlement les observations *in situ*. Une nouvelle loi de fluage est proposée pour l'argilite et implémentée dans FLAC 3D.

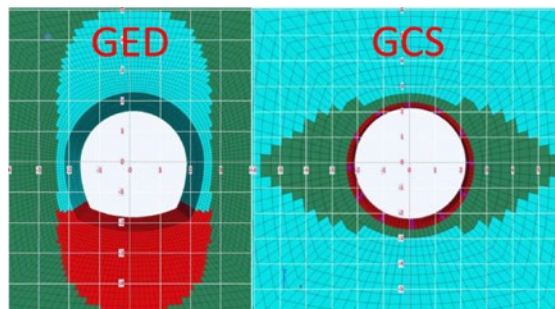
Missions et objectifs

Les mesures réalisées au LSMHM comprennent principalement la convergence des galeries, les efforts dans le soutènement et l'identification d'une zone fracturée autour des galeries. L'objectif du projet de fin d'études correspond à proposer une nouvelle loi de fluage pour l'argilite et à l'implémenter dans FLAC 3D pour les galeries GCS, GED et GRD4 du LSMHM.

Résumé

Le projet de fin d'études comprend la modélisation numérique du comportement différé des galeries profondes GCS, GED et GRD4 du LSMHM dans le cadre du projet CIGEO. Les galeries modélisées sont excavées dans l'argilite du Callovo-Oxfordien et présentent différentes sections et systèmes de soutènement. La première partie du rapport comprend les enjeux mécaniques, thermiques et hydriques du projet CIGEO, les retours d'expérience et les mesures de convergence sur les galeries excavées, ainsi que la revue bibliographique sur la microstructure des argilites et sur les modèles de fluage des géomatériaux. Les modèles numériques actuellement utilisés pour dimensionner les structures du laboratoire et de CIGEO

se fondent sur la loi de HB-Lemaître pour décrire le comportement de l'argilite. Ce type de loi n'est cependant pas capable de reproduire l'anisotropie des convergences identifiées pour les galeries excavées parallèlement à la contrainte majeure et pose plusieurs problèmes numériques. La deuxième partie du rapport présente le développement analytique d'une nouvelle loi de fluage, basée sur la loi de Norton. La loi de fluage proposée est implantée dans FLAC 3D et un calage est réalisé sur la base d'une comparaison entre les convergences calculées et mesurées sur site. Les trois approches de calculs (HB-Lemaître, Norton standard et Norton modifié) calées sur des galeries « souples » permettent de bien reproduire les convergences observées *in situ* à l'exception de l'approche HB-Lemaître pour les galeries orientées suivant la contrainte majeure. Un calcul de type galerie rigide (voussoirs) est réalisé pour chacune des approches et les résultats en termes de moment fléchissant sont assez différents.



Modèles numériques des galeries souterraines GED et GCS dans FLAC 3D. Une zone fracturée (l'EDZ) est considérée *a priori* autour des galeries, selon leur direction de creusement. © Victor Augusto Ribeiro Lima, 2019.

Numerical modelling of the long-term effects for structural design of deep tunnels in claystone

CIGEO Project • Storage cavities • Callovo-Oxfordian claystone • Creep laws • FLAC 3D Code

Context

The HB-Lemaître model is a numerical creep model currently applied to describe sandstone behavior in the framework of the deep geological disposal facility for radioactive waste (CIGEO). Nevertheless this model is not yet capable of simulating anisotropic closures measured in galleries excavated parallel to the major stress. A new creep law based on Norton's law is developed and implemented at FLAC 3D.

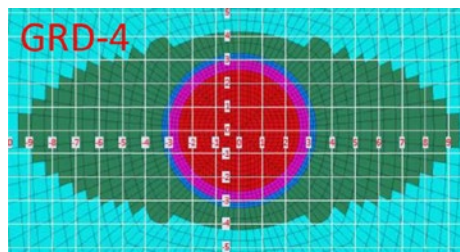
Missions and goals

The measurements carried out at URL mainly include the convergence of the galleries, the constraints in rigid support and the fractured zone around the galleries. The objective of this final year project is to propose a new creep law for the claystone and to implement it in FLAC 3D for the GCS, GED and GRD4 galleries of the Meuse/Haute Marne Underground Research Laboratory (URL).

Abstract

The subject of this final year project is the numerical modelling of the long-term time-dependent behavior of three deep galleries at Meuse/Haute Marne Underground Research Laboratory (URL) in the framework of the deep geological disposal facility for radioactive waste (CIGEO). Galleries GCS, GED and GRD4 are modeled with FLAC 3D code. These galleries are excavated in Callovo-Oxfordian claystone and different sections and support systems are considered. First, the hydro-thermo-mechanical issues of CIGEO project are discussed, then a feedback of closure measures during excavation are presented, as well as a wide bibliographic review of

sandstone microstructure and creep models for geomaterials. HB-Lemaître model is a numerical creep model applied by the National Agency for Radioactive Waste Management (Andra) to describe sandstone behavior, nevertheless this model is not yet capable of simulating anisotropic closures measured in galleries excavated parallel to the major stress. This creep law also involves some numerical problems. The second part of the report shows the analytical development of a new creep law based on Norton's law. The new creep law is implemented at FLAC 3D and a calibration is made to fit calculated evolution of closure to measured ones. Creep laws (HB-Lemaître, Norton standard and original creep law) are calibrated with drift measures from galleries with soft support systems. These laws result in well fitted closures, except for HB-Lemaître law applied to galleries parallel to major stress. These creep laws are applied to calculate constraints in the rigid support. Interestingly, all three creep laws result in different distributions to bending moments in the support.



Modèle numérique de la galerie souterraine GRD-4 dans FLAC 3D. Une zone fracturée (l'EDZ) est considérée a priori autour de la galerie, qui a été creusée au tunnelier dans le sens de la contrainte principale majeure © Victor Augusto Ribeiro Lima, 2019.

Éléments de bibliographie

ARMAND, G., et al., 2017. Main outcomes from in situ thermo-hydro-mechanical experiments programme to demonstrate feasibility of radioactive high-level waste disposal in the Callovo-Oxfordian claystone. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* [en ligne], 2017, vol. 9, n° 3, pp. 415-427. DOI 10.1016/j.jrmge.2017.03.004 [consulté le 6 avril 2020].

CARRILLO, Lina Maria Guayaacan, 2016. *Analysis of long-term closure in drifts excavated in Callovo-Oxfordian claystone: roles of anisotropy and hydromechanical couplings* [en ligne]. Thèse de doctorat. Université Paris-Est. Disponible à l'adresse : <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01542407> [consulté le 6 avril 2020].

SULEM, Jean, 1983. *Comportement différé des galeries profondes*. Thèse de docteur-ingénieur. France : École nationale des ponts et chaussées.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Lucas Magno ROCHA BOTELHO

Élève ingénieur double diplôme
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brésil

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
GEOS Ingénieurs Conseils

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Éric VERMOOTE, responsable de l'équipe Calculs géotechniques
numériques et logiciels

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Amade POUYA, enseignant, École des Ponts ParisTech



Calculs d'interaction sol-structure de fondations profondes sous séisme

Impédance dynamique • Séisme • Effet de groupe • Pieu • GEOSIF

Contexte

Pour la construction des ouvrages d'art de génie civil à risque fondé sur pieux en zone sismique, la caractérisation du comportement sismique est indispensable. À cet égard, on évalue les efforts issus des forces d'inertie développés dans la structure (effet inertiel), ainsi que les mouvements du sol avec la propagation des ondes sismiques avant d'atteindre l'ouvrage (effet cinématique). La question se pose alors dans la manière de prendre en compte l'interaction entre ces deux phénomènes. Dans ce contexte, la notion souvent utilisée par les acteurs de la profession est celle d'interaction sol-structure (ISS). L'ISS en dynamique peut être d'abord caractérisée par les fonctions d'impédance. Ces fonctions d'impédance correspondent à la réponse linéaire d'un système soumis à une sollicitation périodique de type onde sismique. Si on analyse la réponse réelle du système, on trouve un spectre de réponse inférieur à celui obtenu sans l'intégration de l'ISS : celle-ci engendre une dissipation importante de l'énergie des ondes, ce qui induit aussi un déplacement des domaines de sollicitations critiques.

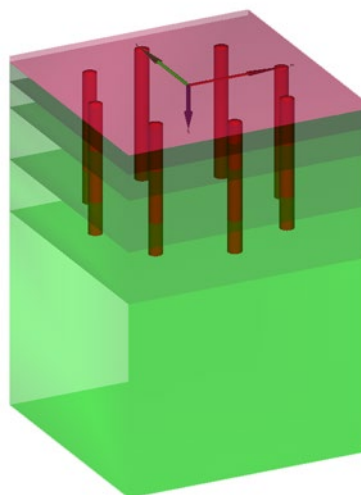
Missions et objectifs

L'enjeu a été de déterminer les avantages et les limites de GEOSIF (logiciel interne développé par GEOS pour la prise en compte de l'interaction sol-structure), en apportant des explications possibles aux éventuels écarts et en proposant des améliorations.

Résumé

Dans le cadre de l'étude du comportement des pieux sous action sismique, l'interaction sol-structure est communément caractérisée par les fonctions d'impédance. Pour

les calculer, GEOS Ingénieurs Conseils a développé son propre logiciel interne, GEOSIF (*GEOS Impedance Functions*). À l'occasion de l'approfondissement de la validation scientifique de ce logiciel, une revue bibliographique sur l'interaction sol-structure est réalisée, en soulignant les différentes approches, les fonctions d'impédance, les effets de groupe sous sollicitations dynamiques, la réglementation française et autres études. Dans un premier temps, les hypothèses considérées dans GEOSIF sont explicitées et suivies d'une validation des résultats. Dans un second temps, une analyse comparative de GEOSIF avec d'autres logiciels est menée, ainsi que leur application dans des projets réels.



Modèle Dynapile – « Mégapoteau » au grand stade de Lille © Lucas Magno Rocha Botelho, 2019.

Soil-Structure Interaction Evaluation for Deep Foundations under Seismic Loads

Dynamic impedance • Seismic excitation • Group effect • Piles • GEOSIF

Context

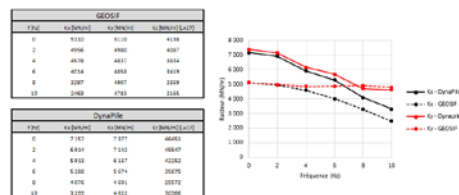
The seismic behavior characterization of engineering works based on piles in seismic zones is essential. For that, the inertial forces developed in the structure (inertial effect) are analyzed, as well as the ground movements due to seismic wave's propagation before them reaching the structure (kinematic effect). The point is how to take into account the interaction between these two phenomena. In this context, the concept of Soil-Structure Interaction (SSI) is introduced. The Soil-Structure Interaction in piles can be described, in a first approach, by impedance functions. These impedance functions correspond to the linear response of a system subjected to a periodic seismic wave load. Considering a real response of the structure (with SSI), a response spectrum lower than that without the consideration of the interaction is obtained: this is explained by a significant dissipation of the waves' energy, which also induces a displacement of the critical stress domain.

Missions and goals

The purpose of this comparison is to determinate the advantages and limitations of GEOSIF and the proposition of improvements in its calculation.

Abstract

In the behavior of piles under seismic event, soil-structure interaction is commonly characterized by impedance functions. To calculate them, GEOS Ingénieurs Conseils has developed its own internal software, GEOSIF (GEOS Impedance Functions). To proceed with a deepening of the scientific validation of this software, a bibliographic review about soil-structure interaction is carried out, highlighting the different approaches, impedance functions, the group effects under dynamics loads, the French legislation, etc. Firstly, the hypotheses in GEOSIF are indicated and results are validated by the bibliography. In the sequence, a comparative analysis is carried out, as well as their application in real projects.



Comparaison des résultats GEOSIF et Dynapile - Projet NOAH
© Lucas Magno Rocha Botelho, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

DOBRY, Ricardo, GAZETAS, George, 1988. Simple method for dynamic stiffness and damping of floating pile groups. *Géotechnique*, 1988, vol. 38, n°4, p. 557-574.

DAVIS, Edward H., POULOS, Harry G., 1974. *Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics*. États-Unis : John Wiley & Sons, 424 p.

ROESSET, Jose M., 1984. Dynamic Stiffness of Pile Groups. In : *Analysis and Design of Pile Foundations*. San Francisco : ASCE, 1984, p. 263-286.



Yuxiang SHEN

Élève ingénieur double diplôme, université de Tongji, Shanghai, Chine
Master Mécanique des sols, des roches et des ouvrages
dans leur environnement (MSROE)UPEM et École des Ponts ParisTech

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Terrasol (groupe Setec)

Tuteurs professionnels • *Organization Tutors* :
Fahd CUIRA, directeur scientifique/ Sébastien BURLON, directeur d'études

Tuteurs académiques • *Academic Tutors* :
Alain PECKER, professeur, École des Ponts ParisTech, et Jean-Michel PEREIRA,
adjoint au président du département Génie civil et construction,
École des Ponts ParisTech



La conception non-linéaire des fondations superficielles sous charge sismique

Fondation superficielle • Non-linéarité • Macroélément • Sismique

Contexte

La conception des fondations superficielles et profondes pour les ouvrages nucléaires est exclusivement basée sur la prise en compte de comportements réversibles. Une telle hypothèse conduit à surestimer les efforts inertiels dans les ouvrages et à augmenter leur coût. Dans le cadre de ce projet de fin d'études, il s'agissait de participer au développement et à la validation d'un outil de calcul prenant en compte les effets « fusibles », c'est-à-dire la possibilité de générer des déplacements irréversibles de la fondation durant la sollicitation sismique. Une telle hypothèse permet de réduire fortement les efforts inertiels dans la structure pour des déplacements irréversibles très faibles (de quelques millimètres à quelques centimètres). L'outil développé repose sur le principe d'un macroélément.

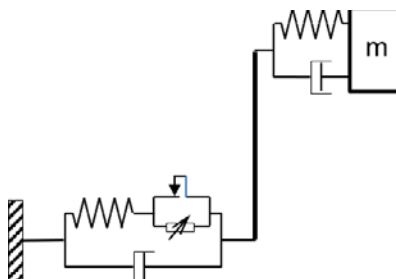
Missions et objectifs

Les missions proposées comprennent différentes parties :

- construction d'une batterie d'exemples pour la validation de l'outil ;
- développement de différentes méthodes d'analyse dans le domaine temporel et fréquentiel en lien avec l'Eurocode 8 ;
- développement de modèles de comportement pour les fondations superficielles et profondes - implémentation en VBA ou en Fortran pour l'outil de calcul développé.

Résumé

Cette étude comprend le développement d'un outil programmé avec les langages VBA et Fortran qui peut être utilisé pour résoudre le problème ISSD conformément à la philosophie du macroélément, une méthode hybride qui sert à la résolution du problème ISS. En pratique, cette interaction peut être analysée en représentant la réponse du sol par des fonctions d'impédances dynamiques (exprimant la raideur et l'amortissement du sol selon le contenu fréquentiel propre de la sollicitation) et en considérant, en toute rigueur, le mouvement sismique affecté par la présence de la structure (interaction cinématique). Un modèle raisonnablement simplifié est proposé, permettant de réaliser le calcul élastique linéaire temporel ainsi que le calcul non-linéaire avec soit une loi de comportement non-linéaire réversible soit une loi de comportement élastoplastique. Pendant le développement, un grand nombre d'exemples de calcul sont effectués afin de valider le modèle utilisé et d'étudier l'effet de l'ISSD. Il convient de dire que le nouvel outil nommé Fondsis (appartenant à Terrasol) démontre clairement ses avantages en effectuant des calculs sismiques prenant en compte l'effet de l'ISSD.



Modèle avec ISS non-linéaire © Yuxiang Shen, 2019.

The non-linear design of shallow foundations under seismic loading

Shallow foundation • Nonlinearity • Macro-element • Seismic

Context

The design of foundations for nuclear stations is exclusively based on the consideration of reversible behaviors. Such an assumption leads to overestimating the inertial forces in the structures and increasing their cost. As part of this final year project, it involves participating in the development and validation of a calculation tool taking into account the "fusible" effects, that is to say the possibility of generating irreversible displacements of the foundation during the seismic stress. Such an assumption makes it possible to greatly reduce the inertial forces in the structure for very small irreversible displacements (from a few millimeters to a few centimeters). The tool developed is based on the principle of a macroelement.

Missions and goals

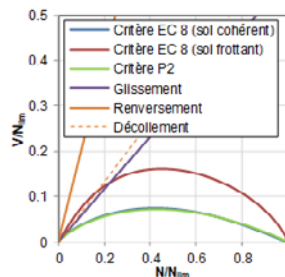
The proposed missions include different parts:

- construction of a battery of examples for the validation of the tool;
- development of different analysis methods in the time and frequency domain in connection with Eurocode 8;
- development of behavioral models for foundations - implementation in VBA or Fortran for the calculation tool developed.

Abstract

In this study, the development of a tool programmed by VBA and Fortran is presented that can be used to solve the DSSI problem according to

the philosophy of the macro-element, a hybrid method that serves to solve the SSI problem. In practice, this interaction can be analyzed by representing the response of the ground by dynamic impedance functions (expressing the stiffness and damping of the ground according to the frequency content of the solicitation) and strictly considering the seismic movement affected by the presence of the structure (kinematic interaction). A reasonably simplified model is proposed, allowing to perform the temporal linear elastic computation as well as the non-linear computation with either a reversible non-linear behaviour law or an elastoplastic behaviour law. During development, a large number of calculation examples are performed to validate the model used and to study the DSSI effect. It should be said that the new tool named Fondsis (property of Terrasol) clearly demonstrates the robustness and its advantages by performing the seismic calculation taking into account the DSSI effect.



Critères non-linéaires utilisés © Yuxiang Shen, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

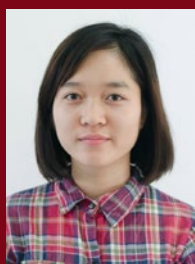
Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

BRÛLÉ, Stéphane et CUIRA, Fahd. 2018. *Pratique de l'interaction sol-structure sous séisme : application aux fondations et aux soutènements*. Afnor éditions.

PECKER, A., 1997. Analytical formulae for the seismic bearing capacity of shallow strip foundations. *Seismic behavior of ground and geotechnical structures*, 1997, pp. 261–268.



Thi Ngoc Thuy TA

Élève ingénieure double diplôme
École supérieure de génie civil de Hanoï, Vietnam

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Terrasol

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Fahd CUIRA, directeur Scientifique

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Jean-Claude DUPLA, chercheur, laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech



Choix du module de déformation en lien avec le pressiomètre

Pressiomètre • Module de déformation • Tassement • Retours d'expérience

Contexte

Les retours d'expérience sur plusieurs types d'ouvrages au cours de ces dernières années ont confirmé la surestimation du modèle élastique linéaire, adopté comme approche classique forfaitaire $E = EM/\alpha$. Bien que l'approche proposée récemment avec l'ajout d'un coefficient correctif k , soit $E = kEM/\alpha$ permette de mieux approcher les mesures, elle reste encore limitée à cause du choix de k qui est délicat et n'est pas scientifiquement éprouvé. Terrasol a engagé à l'occasion du projet national ARSCOP un travail proposant des lois E/EM s'exprimant sous la forme d'une courbe de dégradation, dépendant exclusivement de la déformation.

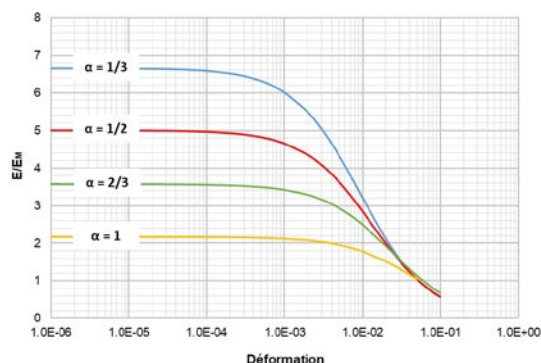
Missions et objectifs

- Établir les courbes de dégradation décrivant le rapport E/EM en fonction du niveau de déformation ;
- étudier la variation de contraintes sous une charge rigide ;
- valider les lois développées en capitalisant des retours d'expérience.

Résumé

Le travail vise à mettre au point une méthodologie scientifiquement éprouvée pour le choix du module de déformation à partir du résultat de l'essai pressiométrique. L'originalité de l'approche proposée réside dans la prise en compte du niveau de déformation dans le sol induit par l'ouvrage. En complément des lois E/EM proposées dans les travaux précédents, qui ont été développées à partir de la théorie classique de l'élasticité de Boussinesq unidimensionnel (1D), dans le cadre de ce projet de fin d'études, des lois alternatives sont établies considérant le modèle tridimensionnel (3D) de Steinbrenner. Décrivant la variation du module de déformation avec le niveau de

déformation, l'approche développée aboutit à représenter le comportement réaliste du sol (comportement élastique non linéaire) et à une logique de la dégradation de la rigidité. Au cours du calage des paramètres pour les lois E/EM , une question a été soulevée sur la variation de contraintes dans le sol. La variation de contrainte sous une charge rigide a été mise au point de manière simplifiée ; elle permet un calcul facile, rapide mais encore fiable des tassements des semelles superficielles, que ce soit avec un modèle élastique linéaire ou non linéaire, sans recours à un logiciel numérique. Les approches développées ont pu être également implantées dans les programmes Tasplaq et Tasseldo du logiciel Foxta développé par Terrasol. Ces derniers offrent également une liberté dans le choix des courbes de dégradation. L'application de ces approches sur les retours d'expérience a montré leur faisabilité. Une bonne estimation des tassements a été constatée sur tous les ouvrages. En comparaison avec l'approche forfaitaire, les approches développées sont à privilégier.



Loi de dégradation $E/EM = f(\epsilon)$ © Thi Ngoc Thuy Ta, 2019.

Choice of the elastic modulus in connection with the pressuremeter

Pressuremeter • Elastic modulus • Settlement • Feedback

Context

Feedback on different types of work in recent years has confirmed the overestimation of the linear elastic model adopted as the conventional approach $E = EM/\alpha$. Although the recently proposed approach with the addition of a corrective coefficient k , i.e. $E = kEM / \alpha$ allows a better approach to the measurements, it is still limited because of the choice of k which is delicate and is not scientifically proven. Terrasol launched a study within the national ARSCOP project proposing E/EM laws expressed in the form of a degradation curve, depending exclusively on strain levels.

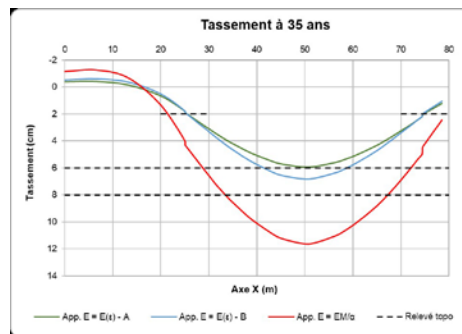
Missions and goals

- Establish the degradation curves describing the ratio E/EM as a function of the strain level;
- study the variation of stresses under a rigid load;
- validate the laws developed by capitalizing on experience feedback.

Abstract

The work aims to develop a scientifically proven methodology for the choice of the elastic modulus from the result of the pressuremeter test. The originality of the proposed approach is to take into account soil's strain levels induced by the structure. In addition to the laws E/EM proposed in the previous works, which were developed from Boussinesq's elastic theory for a one-dimensional model (1D), within this final year project, alternative laws are established based on a three-dimensional model (3D). Describing the variation of the deformation modulus with the strain levels, the

developed approach represents the realistic behavior of the soil (non-linear elastic behavior) and to give a logical explanation of the degradation of rigidity. In order to find out the parameters for the laws E/EM , a question was raised on the variation of stresses in the soil. The variation of stress under a rigid load has been proposed in a simplified way, which allows an easy, yet fast reliable calculation of the settlements for a shallow foundation, whether with a linear or non-linear elastic model, without recourse to numerical software. The developed approaches were also implemented in the Tasplaq and Tasseldo programs of the Foxta software developed by Terrasol. This allows a freedom in the choice of degradation curves. The application of these approaches on real instrumented projects has shown their feasibility. A good estimate of settlement was found in all projects. In comparison with the conventional approach, the developed approaches are to be preferred.



Application des courbes de dégradation pour évaluer des tassements de la tour CB21 à la Défense © Thi Ngoc Thuy Ta, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

HOANG, Minh Tuan, 2017. *Utilisation du pressiomètre pour le calcul de tassement*. Projet de fin d'études, mené chez Terrasol. Champs-sur-Marne : École des Ponts ParisTech, 84 p.



Caline ABOU CHEDID

Élève ingénieure double diplôme
École supérieure des ingénieurs de Beyrouth,
université Saint-Joseph, Liban

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Eiffage Concessions

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Manuel SIRVEN-VILLAROS, directeur Développement

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Charlotte ROUX, responsable académique,
École des ingénieurs de la ville de Paris



École des Ponts
ParisTech



Comment gérer les interfaces et les risques énergétiques des nouveaux équipements publics ?

**Transition énergétique • Gestion des interfaces et des risques •
Réduction et maîtrise des consommations énergétiques •
Délégation de services publics et marchés de concessions**

Contexte

Le secteur du bâtiment est un levier indispensable pour assurer la transition énergétique et atteindre des objectifs de protection de l'environnement. Les bâtiments publics devraient être exemplaires en termes d'efficacité énergétique et de maîtrise des consommations. La valorisation d'un système technique performant doit s'accompagner d'une régulation et d'un suivi des consommations tout au long de la durée de vie de l'ouvrage. Les collectivités et les autorités publiques participent activement à la mise en place de ces initiatives. Les appels d'offre publics intègrent des exigences environnementales de plus en plus élevées.

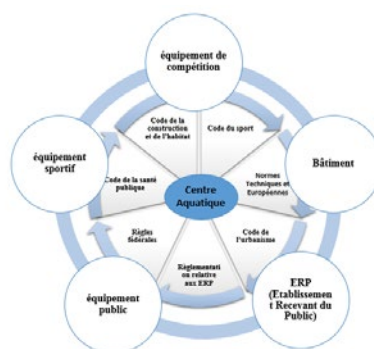
Missions et objectifs

Au cours de cette étude, j'ai analysé les principales sources de consommation des bâtiments, expliqué les techniques adoptées pour réduire et calculer leurs consommations, traité l'ensemble des risques pesant sur une construction dans le cadre des marchés de concessions et détaillé les modalités de gestion des risques liés au non-respect des exigences énergétiques. Ces éléments sont complétés par une vision macro intégrant la dimension projet et plus particulièrement la gestion des interfaces entre les différentes parties prenantes dans le cadre d'un projet concessif (choix du montage contractuel, répartition de l'actionnariat de la société de projet, négociation du contrat de concession).

Résumé

Cette question a été traitée en analysant la concession d'un bâtiment public très énergivore : le centre aquatique. Le choix s'est orienté vers cet équipement puisqu'il cristallise plusieurs enjeux en termes de performance éner-

gétique et de gestion des risques liés au dépassement des consommations. Dans le cadre du projet, l'analyse a été portée sur le cas des marchés de délégation de service public et plus particulièrement sur les marchés de concessions. La réponse apportée a été structurée en deux parties. La première partie se focalise sur les aspects techniques et opérationnels du bâtiment, l'idée étant de comprendre les différents paramètres qui permettent de réduire, calculer et maîtriser les consommations énergétiques. Une deuxième partie vient compléter les premiers éléments en intégrant la dimension projet. En effet, les performances du bâtiment calculées et optimisées dans la première étape du rapport sont soumises à des aléas et à des risques. Cette partie permet de situer les risques du projet dans le temps et explique les modalités de leur gestion. Finalement, il est important de retenir que les décisions d'aujourd'hui génèrent les performances de demain et que les choix d'aujourd'hui limitent les risques de demain.



Les normes et types d'équipement d'un centre aquatique © Caline Abou Chedid, 2019.

How to manage interface and risk management for new Public Equipment?

Energy transition • Interface and risk management • Reduction and control of energy consumption • Delegation of public services and concession markets • Energy buildings and aquatic centers

Context

The building sector is essential to ensure the energy transition and the achievement of environmental protection objectives. Public buildings should be exemplary in terms of energy efficiency and control of consumption. The development of an efficient technical system must be accompanied by regulation and monitoring of consumption throughout the life of the structure. Communities and public authorities are actively participating in the implementation of these initiatives. Public tenders incorporate increasingly high environmental requirements.

Missions and goals

During this study, I analyzed the main sources of energy consumption of buildings, explained the techniques adopted to reduce and calculate their consumption, treated all the risks weighing on a construction within the framework of concession contracts and detailed the risk management methods related to non-compliance with energy requirements. These elements are complemented by a macro vision integrating the project dimension and more particularly the management of interfaces between the various stakeholders within the framework of a concession project (choice of contractual arrangement, distribution of the shareholders of the project company, negotiation of the concession contract).

Abstract

This question was addressed by analyzing the concession of a very energy-consuming public

building: the aquatic center. The choice was directed towards this equipment since it crystallizes several challenges in terms of energy performance and risk management linked to excessive consumption. It thus presents a typical example of a public and energy-consuming building. As part of this study, the analysis was carried out on the case of public service delegation contracts and more particularly on concession markets. The response was structured in two parts. The first part focuses on the technical and operational aspects of the building, the idea being to understand the different parameters that make it possible to reduce, calculate and control energy consumption. A second part completes the first elements by integrating the project dimension. In fact, the performance of the building calculated and optimized in the first stage of the report is subjected to hazards and risks. This part makes it possible to locate the risks of the project in time and explains the management's methods. Finally, it is important to remember that. Today's decisions will generate tomorrow's performance and today's choices will limit tomorrow's risks.

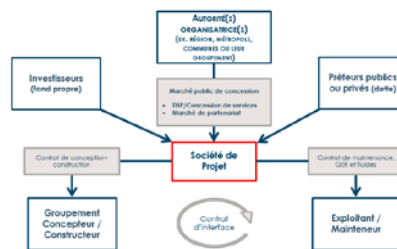


Schéma des relations contractuelles © Caline Abou Chedid, 2019.

Éléments de bibliographie

FÉDÉRATION FRANÇAISE DE NATATION, 2018. *Piscines : aide à la conception pour les maîtres d'ouvrage*. 8^e édition. France : Fédération française de natation, 227 pages.

CHARRU, Madeleine, DUVAL, Guillaume, 2018. Comment accélérer la transition énergétique ? Avis sur la mise en œuvre de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Les avis du CESE (en ligne). Paris : les éditions des journaux officiels, 28 février 2018, NOR : CESL1100004X. Disponible sur : https://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Avis/2018/2018_04_loi_transition_energetique.pdf (consulté le 24/02/2020).

- Bâtiment
Buildings
- Géotechnique
Geotechnics
- Gestion et financement de projets
Project management and finance
- Matériaux
Materials
- Méthodes
Methods
- Modélisation et optimisation
Modelling and optimization
- Ouvrages d'art et infrastructures
Engineering structures and infrastructures
- Performance énergétique et environnementale
Energy and environmental performance
- Réhabilitation
Rehabilitation
- Structures



Ignacio CANELA GOMÀ

Élève ingénieur double diplôme
Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelone, Espagne

Promotion 2018

Mission en entreprise réalisée à
Groupement Horizon (Bessac), lot T3A du Grand Paris

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Guillaume ROUX, responsable Tunnel

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Michel PRÉ, enseignant, École des Ponts ParisTech



École des Ponts
ParisTech

Analyse des risques pour la réalisation d'une galerie avec un micro-tunnelier

Tunnelier à attaque ponctuelle • Confinement par air comprimé •
Analyse de risques • Procédures de réalisation et contrôle

Contexte

Le lot T3A du Grand Paris Express prévoit l'évacuation des déblais du creusement par des barges à travers la Seine. Afin de connecter le puits principal avec la berge en évitant une ligne de tramway, le contrat prévoit d'ex-caver une galerie logistique à l'aide d'un micro-tunnelier à attaque ponctuelle et confinement par air comprimé.

Le contexte géotechnique, logistique et urbain du projet impose des contraintes significatives qui pourraient mettre en cause la viabilité technique et financière de la méthode d'exécution de cet ouvrage.

Missions et objectifs

- Application de la méthodologie de management du risque proposée par l'AFTES au cas de la galerie logistique du lot T3A ;
- identification des obstacles majeurs qui pourraient avoir lieu lors de l'exécution de la galerie logistique ainsi que l'identification des risques qui leur sont liés ;
- analyse des risques du projet et des opportunités ainsi que la mise en place de mesures préventives et des plans d'action pour réduire leur possible impact productif et financier ;
- rédaction des procédures de réalisation et de contrôle tout en prenant en compte l'ensemble des risques identifiés et leur mode de traitement.

Résumé

La méthodologie de management du risque proposée par l'AFTES est un outil très pertinent dans le cadre des travaux souterrains et sera la base sur laquelle cette analyse des risques sera structurée.

Les résultats de l'analyse des risques, notamment le traitement des risques avec l'établissement de mesures préventives ou les plans d'action, se traduiront par la définition de procédures de réalisation et de contrôle.

Le caractère itératif de l'analyse des risques requiert à chaque fois une nouvelle évaluation des risques avec un nouveau traitement jusqu'à la convergence vers un résultat final. Les risques restants seront soit jugés comme acceptables, soit ils ne pourront être réduits qu'avec un changement des hypothèses de départ, comme cela a été finalement le cas.

L'analyse des risques menée dans le cadre de ce projet de fin d'études a été une source fondamentale d'arguments techniques et financiers pour faire valider une modification du contrat par la maîtrise d'œuvre et vis-à-vis des Architectes des bâtiments de France, ceci compte tenu de la situation du chantier sur un site classé, mais également par rapport à l'impact visuel de la nouvelle solution : l'évacuation des déblais à travers un convoyeur aérien.

Risk analysis for a tunnel dug with a micro-TBM

**Punctual attack micro-TBM • Compressed air containment •
Risk analysis • Construction and control procedures**

Context

In the original Project, the Grand Paris Express T3A lot plans to evacuate the excavated soils by barges via the Seine River. In order to connect the main shaft with the riverbank without disturbing a tramway line, the contract stipulates that a logistic tunnel will be dug using a punctual attack micro-TBM with compressed air containment.

The geotechnical, logistical and urbanistic context of the project imply several difficulties that could cast doubt on the technical and financial viability of the current construction method.

Missions and goals

- Apply the AFTES risk management methodology to the logistic passageway of the T3A lot;
- identify the main bottlenecks of the passageway's execution including risk identification;
- assess the project's risks and opportunities and implement preventive and curative measures to reduce their possible productive and financial impacts;
- draft execution and control procedures while taking into account the identified risks and their treatment methods.

Abstract

The AFTES risk management methodology is a very relevant tool for risk management in underground works, as it has been the basis for the structure of the current risk analysis.

The results of the risk analysis, and in particular their treatment through the preventive or curative measures to be implemented, will be taken into account in the definition of the execution and control procedures.

The iterative nature of risk analysis requires at each step a new risk assessment followed by a new treatment until converging on a final result where the remaining risks cannot be reduced anymore, without changing the initial assumptions, as it ultimately was the case.

The risk analysis implemented in the context of this final project was a fundamental source of technical and financial arguments to validate a modification of the contract by the project manager and the "Architectes des bâtiments de France" society, regarding the visual impact of the new solution inside a classified site: the evacuation of the excavated material through an overhead conveyor.

Éléments de bibliographie

BIANCHI, Gianpino Walter, *et. al.*, 2012. Recommandation de l'AFTES n°GT32.R2F1 - Recommandation sur la caractérisation des incertitudes et des risques géologiques, hydrogéologiques et géotechniques. *Tunnels et espace souterrain*, 2012, n° 232, p. 274-355.

COLOMBET, Guy, *et. al.*, 2004. Recommandation de l'AFTES n°GT32.R1F1 - Prise en compte des risques géotechniques dans les dossiers de consultation des entreprises pour les projets de tunnel. *Tunnels et ouvrages souterrains*, 2004, n° 185, p. 316-327.

PIRAUD, Jean, 2016. Recommandation de l'AFTES n°GT32.R3F1 - Prise en compte des risques techniques dans les projets d'ouvrages souterrains en vue de la consultation des entreprises. *Tunnels et espace souterrain*, 2016, n° 258, p. 332-359.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Aurélien DE BOIS

Élève ingénieur concours commun
Université de technologie de Delft, Pays-Bas

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Bouygues, Ouvrages publics

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Benjamin POTELLE, chef de groupe Travaux, Pôle clos & couvert

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Georges DEBANE, responsable académique du MS® Infrastructure
Project Finance, École des Ponts ParisTech



Application du *Lean* aux études techniques sous-traitées

Bâtiment • Construction • *Lean* • Études techniques • *Lean Engineering*

Contexte

Ce n'est que récemment que la pensée *Lean* s'est développée dans l'ingénierie. Longtemps conservé secret, le Toyota Product Development System, duquel est tiré le *Lean Engineering*, est à l'origine de la performance de l'entreprise japonaise et de la valeur ajoutée que présentent ses produits. Il ne suffit pas de produire efficacement des produits de qualité, il faut aussi concevoir et développer les bons produits qui maximisent leur valeur tout en minimisant les gaspillages pour l'ensemble de leur cycle de vie.

Missions et objectifs

Ce projet de fin d'études s'oriente sur la problématique suivante : comment appliquer les pratiques du *Lean Engineering* aux études techniques sous-traitées d'un projet de construction ?

Résumé

Le *Lean Engineering* présente des similitudes avec la production *Lean*, notamment concernant l'importance accordée à l'observation et tout ce qui en dérive, comme l'amélioration continue et l'apprentissage. Ce qui démarque l'ingénierie tient à l'observation des clients et des utilisateurs du produit. En effet, l'équipe de conception développe un produit en y intégrant des opportunités de valeurs qui ne se concrétisent que par l'utilisation

qu'en font les clients. Des outils comme le radar client ou le *Value Stream Mapping Client* permettent d'identifier les clients et les utilisateurs, leurs préférences et les attributs de valeurs importants à leurs yeux.

Une fois la connaissance du client acquise, les ingénieurs peuvent explorer l'espace de conception et l'ensemble des combinaisons techniques, guidées par un diagramme d'influence causal et par les dépendances entre les variables de conception et les performances du produit. L'identification des écarts de connaissances critiques pour la réussite des études leur permettra alors de converger vers le concept maximisant la satisfaction des clients et des utilisateurs. Pour que les études de conception d'un projet de construction et les études d'exécution se déroulent dans les meilleures conditions, il est nécessaire de prendre en compte le contexte particulier du projet. La perspective de gain est primordiale pour l'ensemble des intervenants, qu'il s'agisse de la maîtrise d'œuvre, de l'entreprise générale ou des entreprises sous-traitantes. La méthode du *Pull Scheduling* permet alors de minimiser les gaspillages pour l'ensemble des acteurs en fluidifiant les études par des échanges plus fréquents d'information, en rythmant les études par des cycles d'études et des cycles d'apprentissage plus courts et en ne produisant que l'information dont les autres intervenants ont besoin.

Application of Lean Engineering to subcontracted technical studies

Civil Engineering • Lean • Technical Studies • Lean Engineering

Context

It is only recently that lean thinking has developed in engineering. Kept secret for a long time, the Toyota Production System, from which lean engineering is sourced, is at the root of the Japanese company's success and the added value of its products. It is not enough to produce high-quality products efficiently, it is also mandatory to design and develop the right products that maximize their value while minimizing waste for their entire life cycle.

Missions and goals

This final year project focuses on the following issue: how to apply Lean Engineering practices to technical studies subcontracted in a construction project?

Abstract

Lean engineering shows some similarities with lean production, especially regarding the importance given to the observation and what follows, continuous improvement and personal development. What sets engineering apart is the observation of customers and users of the product. Indeed, the design team develops a product

containing value opportunities, becoming real only with customers' usage. By using tools such as a radar chart of the product and the customer preferences, the mapping of the customer stream of value, it is possible to identify the product's customers and users as well as their preferences and the product's performances most important to them. With the customer knowledge acquired, guided by a causal influence diagram and by the dependencies between design variables and product performances, the engineering team is able to explore the design space and all the technical combinations. The identification of the knowledge gaps, critical for the product development success, allows them to narrow the studies to the one concept that maximizes the satisfaction of the customers and the users. It is necessary to take into account the specificities of a construction project to ensure the success of the design studies and the implementation studies. The prospect of gain is of prime importance for all those involved, whether they are the designing team, the general contractor or the subcontractors. Pull scheduling is a method that minimizes waste for all the stakeholders by streamlining studies through more frequent information exchanges, by scheduling studies with shorter study cycles and shorter learning cycles and by producing only the information that the other stakeholders need.

Éléments de bibliographie

BALLÉ, Michael et BEAUVALLET, Godefroy, 2013. *Le management lean*. Montreuil : Pearson, 242 p.

ROCHE, Cécile, DELAMOTTE, Luc et FLOUS, Olivier, 2018. *Lean en ingénierie: guide de voyage : les meilleurs itinéraires pour développer vos nouveaux produits et satisfaire vos clients*. Paris : L'Harmattan, 374 p.

BALLÉ, Freddy, BALLÉ, Michael, VAREILLE, Pierre et SPERRY, Monique, 2014. *Le gold mine: un récit lean*. Paris : L'Harmattan, 388 p.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Haozhu DENG

Élève ingénieur double diplôme
Université de Tongji, Shanghai, Chine

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Louis Berger

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Denis SONSOURT, chef du projet

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Claire EVENO, responsable de module ou de parcours, mairie de Noisy-le-Sec



Les interfaces au sein du projet Eole et le système correspondant pour les régler

Eole • Management du projet • Interface

Contexte

Eole est un projet dont l'objectif est le prolongement du RER à l'ouest. Il vise à réaménager la ligne existante entre Mantes-la-Jolie et Nanterre, sur une longueur de 47 km, et à percer un nouveau tunnel d'environ 8 km entre la Défense et Haussmann Saint-Lazare, terminus actuel du RER E. Le coût global du projet est de 3,7 milliards d'euros et il est estimé que 620 000 voyageurs le fréquenteront chaque jour. La construction de l'infrastructure souterraine d'Eole comprend la réalisation de plusieurs puits, tant pour les travaux des tunnels et des gares que pour l'exploitation de l'infrastructure en phase opérationnelle, qui nécessite beaucoup d'intervenants. Naturellement des interfaces existent pendant tout le processus des travaux et la façon d'organiser les interfaces et de traiter les problèmes associés est critique pour le coût et la qualité du projet.

Missions et objectifs

En tant qu'OPC, on doit analyser les interfaces, anticiper les problèmes pouvant survenir et identifier des solutions : collecter des informations à propos de ces travaux, par exemple le planning contractuel, les jalons, le planning d'avancement, etc. ; analyser les retards et leurs causes ; identifier les impacts sur d'autres marchés.

Résumé

Pendant ce projet de fin d'études, les interfaces et les problèmes existants au sein du projet Eole ont été analysés, y compris les interfaces internes et externes, ainsi que les propositions de solutions correspondantes. Le système permettant de résoudre les problèmes des interfaces a également été analysé : pour le groupe, une organisation

de la gestion des interfaces est lancée et un système de circulation d'information par GED est adopté, qui facilite beaucoup la coordination entre différents marchés et la circulation de l'information. Du côté OPC, un système d'analyse de l'avancement du projet est appliqué, y compris le planning de référence, le planning de chaque tâche, le planning au niveau de l'emprise et le planning global. On peut suivre et représenter l'avancement du projet avec ces outils et proposer des solutions pour gagner du temps dans les travaux et éviter des problèmes dans les interfaces. À la fin, l'implémentation de BIM est proposée, permettant d'énormes avantages.



Tunnel à Gambetta © Haozhu Deng, 2019.

The Interfaces in Eole and the corresponding system of regulation

Eole • Project management • Interface

Context

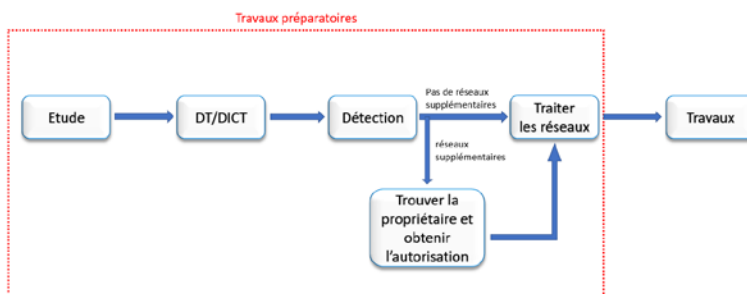
Eole is a project to extend the RER to the West. Its goal is to redesign the existing line between Mantes-la-Jolie and Nanterre, with a length of 47 km, and drill a new tunnel between la Défense and Haussmann Saint-Lazare, which is the current RER E terminal. It is estimated that there will be 620 000 passengers a day. The construction of Eole's underground infrastructure includes the construction of multiple wells for tunnel and railway station projects as well as the infrastructure in operation stage, which requires a large number of participants. Thus, there are interfaces in the whole process of the project. The way to organize and solve the interface problems is very important for the cost and quality of the project.

Missions and goals

As SCMC, we must analyze the interface, predict possible problems and find solutions: collect and analyse information about this work, such as contract planning, milestones, schedule planning, etc.; analyze delays and causes; identify impacts on other working scenarios.

Abstract

During this project, we analyzed the interfaces and the existing problems within the Eole project including the internal and external interfaces, as well as the corresponding solution proposals. The system to solve the problems of the interfaces is also analyzed: for the group, an organization of the management of the interfaces is launched and a system of circulation of information by EDM is adopted, which facilitates the coordination between different markets and the circulation of information. For the SCMC side, an analysis system of the progress of the project is applied, including the reference planning, the planning of each task, the planning of each site and the global planning, and one can easily follow and figure out the progress of the project with these tools and propose solutions to save time in the works and avoid problems in the interfaces. In the end, the implementation of BIM is proposed considering its huge benefits.



Processus de l'emprise amélioré © Haozhu Deng, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Mohammed Amine DERKAOUI-HASSANI

Élève ingénieur double diplôme
École Mohammadia d'ingénieurs, Rabat, Maroc

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Setec international

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Yannick ADDA, ingénieur principal

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Vincent ROUCOU-DAVID, enseignant, École des Ponts ParisTech



École des Ponts
ParisTech

Intégrer le report modal dans la logistique des grands chantiers du BTP

EXCEL et VBA • Logistique • Report modal • Recherche opérationnelle • Terrassements

Contexte

Mon projet de fin d'études s'est passé au sein de Setec international sur le grand projet en France du canal Seine-Nord Europe. Ce projet, qui consiste à réaliser un canal de grand gabarit, représente la liaison manquante entre les réseaux de transport fluvial de la France et des pays voisins (Pays-bas, Belgique et Allemagne). J'ai fait partie de l'équipe d'assistance à la maîtrise d'ouvrage (AMO) au client public, Société du Canal Seine-Nord Europe.

Missions et objectifs

L'objectif principal de mon projet de fin d'études était de développer un outil d'aide à la décision logistique des grands chantiers qui intègre l'impact environnemental dans la prise de décision tout en maîtrisant les coûts du transport.

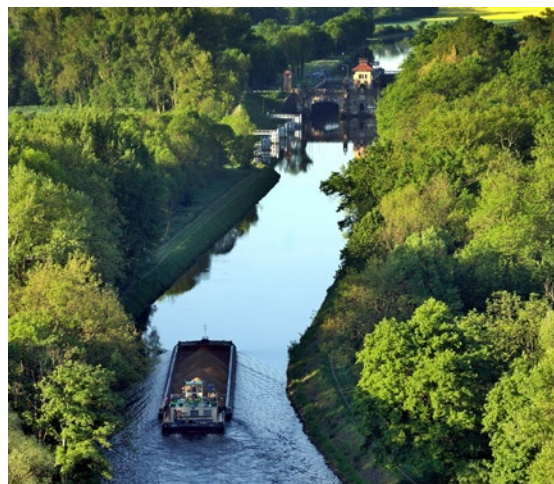
Mes missions étaient de :

- faire un inventaire des différents sites potentiels à la réception de déchets et des déblais d'un grand chantier d'infrastructure linéaire (carrières, etc.) ;
- s'inspirer de la stratégie déployée au projet du Grand Paris pour la gestion de ces déchets ;
- développer un outil VBA/Excel capable de retrouver la logistique la moins onéreuse (ou bien un ensemble de stratégies) avec leurs détails, en se basant sur un minimum de données d'entrée.

Résumé

Le maître d'ouvrage (MOA) du canal Seine-Nord Europe a voulu évacuer les déchets (majoritairement des déblais excédentaires) des terrassements du chantier à travers les voies d'eau disponibles à proximité du linéaire du projet. Une telle approche n'est pas populaire en France car elle répond au besoin de réduire la participation de la France au réchauffement climatique, un besoin d'actualité qui ne se présentait pas comme un objectif à tenir

il y a quelques années. Le transport est un acteur principal dans les émissions des gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques. Mon projet de fin d'études a donc consisté à développer un outil interactif et simple d'utilisation permettant de trouver la meilleure stratégie de logistique de projet d'infrastructure en tenant compte de toutes les contraintes naturelles (localisation, moyens de transport et infrastructures de transport disponibles) par la route, par les voies d'eau (canaux navigables) ou par les chemins de fer, ainsi que les objectifs et les souhaits du propriétaire (utilisateur) traduits en nombres et en contraintes. L'outil donne à l'utilisateur la possibilité de mesurer les meilleures possibilités disponibles, de les comparer et de prendre une décision plus rationnelle qui peut être évaluée à des millions d'euros comme coûts en plus de la réduction réfléchie et contrôlée de l'impact environnemental de tout projet de construction.



Barge transportant des matériaux de construction © Jerzy Górecki (source : Pixabay). Disponible sur : <https://pixabay.com/fr/photos/la-barge-transport-2362902/>

Integrate modal shift into the logistics of major projects

Excel and VBA • Logistics • Modal shift •
Operational impact • Earthworks

Context

My final year studies project was at Setec international. My team had as a main mission to help the owner of the project (Canal Seine-Nord Europe) in taking rational decisions about their project. I participated at the logistics part where I had to figure out how we can measure the environmental impact of the logistics of such a huge project and afterwards to try to reduce it while controlling the budget to allocate for it.

Missions and goals

My main objective was to develop an interactive and easy-to-use tool for big infrastructure projects. The tool was written in VBA language on Excel's platform. My missions were to filter among the potential sites that can accept the wastes of our project, look at the strategy of Grand Paris in getting rid of their wastes and to develop the Excel tool that can find the best logistics according to the owner goals.

Abstract

The owner of Canal Seine-Nord Europe wanted to evacuate the wastes of its earthworks using the waterways available near the linear of the project. Such an approach isn't popular in France because it wasn't a concern but with the global warming accelerating, France wanted to reduce the environmental impact of all its industries which transport is a main contributor in climate

change. So my final year studies project was about developing an interactive and easy-to-use tool that can find the best strategy for infrastructure project logistics, taking into account all the natural constraints (localisation, transport means and transport infrastructure available) for road, waterways and railways and also the goals and wishes of the owner (user) translated in numbers and constraints. The tool gives the user the ability to measure the best available possibilities, compare them and to take a critical decision which can be valued for millions of euros in addition to the international and controlled reducing of the environmental impact of any construction project.



La voie navigable Keweenaw sur la péninsule de Keweenaw
© U.S. Army Corps of Engineers, CCo (source : Wikimedia Commons).

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

EY SOCIÉTÉ D'AVOCATS, 2017. *Intégrer un maillon fluvial dans la logistique des appels d'offres de grands chantiers publics*. Voies navigables de France.



Augustin JONCHERAY

Élève ingénieur concours commun
Politecnico di Milano, Italie

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Setec Organisation

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Arnaud VOOG, directeur de projet

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Ali FAWAZ, enseignant, École des Ponts ParisTech



Développement et mise en oeuvre d'une méthode d'analyse des risques

Risques • Monte-Carlo • Gestion de projet • Canal Seine-Nord-Europe • Planning

Contexte

Le canal Seine-Nord-Europe (CSNE) est un projet d'infrastructure fluviale de 106 km qui permettra de relier l'Oise au canal Dunkerque-Escaut. L'objectif est de permettre un report modal de la route vers la voie d'eau dans une démarche de développement durable. Ce projet est porté par l'Europe, l'État, la région et les départements pour un coût de 4,5 milliards d'euros, valeur de janvier 2013. Le canal est en phase d'études, les travaux commenceront en 2020.

Missions et objectifs

L'objectif de ce projet de fin d'études est d'explicitier une méthode de simulation Monte-Carlo pour l'évaluation des risques du projet CSNE et d'explorer ses limites. En tant que co-financeur, l'Union européenne apporte une attention particulière à nos méthodes de suivi de l'avancement et d'évaluation du risque. Ce travail sert notamment de réponse à ces attentes en matière d'évaluation plus poussée du risque.

Résumé

La gestion de projet repose sur le triptyque coûts-délais-risques. Il est impossible au début d'un projet de connaître toutes les incertitudes que nous rencontrerons. Cependant, nous sommes certains qu'il y aura des aléas, et que ces aléas provoqueront un surcoût ou un retard. Notre budget et notre planning sont liés à ces aléas. Pour cette raison, il est nécessaire de faire un travail d'identification des risques possibles.

Généralement, nous associons à chaque risque une unique gravité liée à une probabilité d'occurrence, alors que ce risque peut conduire à différents scénarii associés chacun à une probabilité, ou encore la gravité n'est peut-

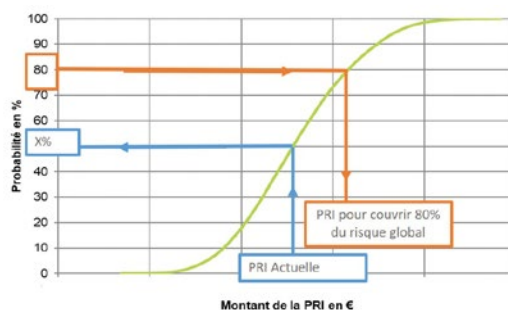
être pas estimable en valeur discrète et il faut adopter une approche continue. La méthode Monte-Carlo est une approche probabiliste qui permet d'enrichir l'analyse des risques.

Afin de mettre en œuvre la simulation, il est nécessaire d'associer à chaque risque une distribution de probabilité à dire d'expert – il n'existe pas de base de données publique consolidée sur les risques des projets d'infrastructures.

Après simulation, nous obtenons la densité de probabilité du coût des risques du projet et donc ce que couvre la provision pour risques réelle du projet. Nous obtenons aussi un planning probabilisé et le pourcentage de succès de notre planning.

Cette méthode permet d'avoir un regard critique sur la provision pour risques choisie dans le budget et sur la faisabilité du planning. C'est aussi un thermomètre de la provision et des dérives du planning qui permettra de suivre leur évolution d'un trimestre à l'autre.

Rappelons toutefois l'importance d'une analyse de risques poussée avant toute méthode de numérisation.



Courbe de probabilité du coût global des risques du projet © Augustin Jonchery, 2019.

Risk assessment method development and implementation

Risks • Monte-Carlo • Project Management •
Canal-Seine-Nord-Europe • Planning

Context

The Seine Nord Europe Canal is a 106-km long river infrastructure project aiming to connect the river Oise to the Dunkerque-Escaut channel. The goal is to allow a transportation shift from the highway to the waterway. The project is supported by the European Union, France, the region, and other local actors, it will cost around 4,5 billion euros, value date January 2013. The canal is currently under study with work forecast to commence in 2020.

Missions and goals

The goal of this final year project is to develop a method based on a Monte-Carlo simulation to assess the risks of the CSNE projet. As co-investor, the European Union maintains a close eye on our risk assessment and progress tracking methods. This work is part of the answer to this expectation in terms of risk assessment.

Abstract

Project management is based on the triptych of costs, dead lines and risks. At the start of any project, it is simply impossible to know all of the uncertainties we may encounter. However, we can assume that there will be hazards and these will cause either an additionnal cost or a delay. For this reason, it is necessary to identify all possible risks.

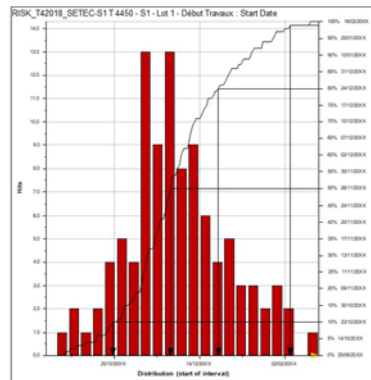
Generally, we associate each risk with a single severity linked to a probability of occurrence, whereas this risk may lead to different scenarios each associated with a probability, or the severity may not be estimable in discrete values and a continuous approach must be taken. The Monte-

Carlo method is a probabilistic approach that enriches risk analysis. In order to implement the simulation, it is necessary to associate an expert probability distribution with each risk - there is no publicly available consolidated risk database for infrastructure projects.

After simulation, we obtain the probability density of the project risk cost and thus what the actual project risk provision covers. We also obtain a probabilized schedule and the percentage of success of our schedule.

This method allows a critical look at the risk provision chosen in the budget and the feasibility of the planning. It is also a thermometer of the provision and the deviations of the planning which will make it possible to follow their evolution from one quarter to another.

However, it is important to remember the importance of an in-depth risk analysis before any digitisation method is used.



Courbe de probabilité cumulée de la date de début des travaux du 1^{er} secteur © Augustin Joncheray, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

GOLLIER, Christian, BAUMSTARK, Luc, FERY, Pierre, CENTRE D'ANALYSE STRATÉGIQUE, DIRECTION GÉNÉRALE DU TRÉSOR ET DE LA POLITIQUE ÉCONOMIQUE, 2011. *Le calcul du risque dans les investissements publics*. Paris, France : La Documentation française.

VOSE, David, 2000. *Risk analysis: a quantitative guide*. New York : John Wiley.

MORAND, Denis, 2012. *Le management des risques de projets complexes de génie civil et urbain* [en ligne]. Le moniteur des travaux publics et du bâtiment, n°5682. Cahier pratique n°3. Disponible à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01456642> [Consulté le 1 avril 2020].



Katia MAKHLOUF

Élève ingénieure concours commun
Parcours Infrastructure Project Finance

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Aecom

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Édouard HILEY, directeur d'équipe

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Géry DEFFONTAINES, chercheur, LATS, École des Ponts ParisTech



Le devenir d'une infrastructure stratégique : contraintes et opportunités

Concession • Aéroport • Exploitation et maintenance •
Coûts du cycle de vie • Contrat

Contexte

Depuis une dizaine d'années, les aéroports sont devenus la vedette des investissements en infrastructures. Les raisons sont multiples : le trafic aérien s'envole ; ce sont des actifs gourmands en capital et ils permettent donc aux investisseurs de placer de gros tickets ; les concessions sont longues et relativement peu risquées puisqu'une partie des recettes sont régulées par un régulateur public avec la possibilité d'ajuster les redevances aéroportuaires si nécessaire ; enfin beaucoup d'aéroports sous-exploitent le potentiel des redevances non-aéroportuaires qui constituent donc des sources d'optimisation.

Missions et objectifs

Ce projet de fin d'études vise à illustrer, à travers une étude de cas à la fois caractéristique et originale, les contraintes et les opportunités que constituent les partenariats publics privés pour les infrastructures clés d'un pays en développement. En se focalisant sur la phase d'exploitation maintenance, il s'agit d'évaluer dans quelle mesure l'intervention du privé peut orienter, voire transformer le devenir d'un aéroport, en favorisant les initiatives nécessaires au maintien en bon état de l'infrastructure sur la durée et en optimisant les coûts.

Résumé

On illustre à travers l'exemple d'un aéroport international, les contraintes et les opportunités que représente la concession pour les infrastructures clés d'un pays en développement, du point de vue de l'investisseur privé.

Une analyse du contrat de concession a montré que les exigences de rétrocession de l'actif favorisent les initiatives nécessaires au maintien en bon état de l'infrastructure, tout en incitant l'implication à long terme du partenaire privé afin qu'il puisse tirer profit du potentiel commercial de l'aéroport, dans un contexte de forte croissance du trafic.

Sur la base d'une analyse de capacité et de solutions architecturales répondant aux exigences de niveau de service internationales, on développe un modèle de coûts (coûts d'investissement « CAPEX » et de cycle de vie) pour l'aéroport afin d'évaluer la rentabilité de possibles extensions de la concession.

The future of a strategic infrastructure of a country

**Concession • Airport • Operation & Maintenance •
Life cycle costs • Contract**

Context

Since early 2010s, airports have become the star of infrastructure investments. There are many reasons why: air traffic is booming; they are assets subject to big capital investment and therefore enable investors to invest big, long concessions with relatively low risk since half the income is regulated; finally, lots of airport concessions under operate the commercial upside of their airport, as a result they hold a huge upside with potential commercial revenues. The strategy is to bet on small and medium airports with high growth potential.

Missions and goals

From a global perspective, my role was to participate in the delivery of a technical advisory assignment of a international brownfield infrastructure. This required both the contracts and technical data analysis and to conduct risk assessments with the development of CapEx/OpEx forecasts.

The aim of the work was to provide elements of response to the question: from the integration of a PPP in a territory and its social fabric, to the life-cycle costs optimisations, how does the involvement of the private sector contribute to the creation of value of an infrastructure?

Abstract

This final year project intends to illustrate, through the case study of a Middle-East international airport, the constraints and opportunities of concessions for the key infrastructures of a developing country, from the private partner viewpoint. The analysis of the concession contract provided that the handback requirements are a way for the grantor to make sure of the good operation and maintenance of the asset, while encouraging the long-run commitment of the investor so that it can develop a commercial airport in the context of high traffic growth.

After carrying out a capacity analysis and the development of a master plan satisfying the international airport's KPIs of the contract, we developed a capex and life cycle costs model in order to assess the profitability for the SPV to extend the concession on various time horizons.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. 2009. Aircraft reference code. ICAO.

Aerodromes. 2009. Volume 1 : Aerodrome Design and Operations. ICAO.

Airport development reference manual. 2016. 10e édition. IATA-International Air Transport. Montreal, Canada.



Michael PIOTRAUT

Élève ingénieur double diplôme
Polytechnique Montréal, Canada

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Alliages & Territoires

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Adrien FAURE, directeur de programme

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Thomas CUINGNET, enseignant, École des Ponts ParisTech



Les facteurs de réussite et d'échec d'un grand projet : le cas d'EuropaCity

Aménagement • Analyse • Business Model • EuropaCity

Contexte

Dans le cadre du cursus d'ingénieur double-diplôme affilié au département Génie civil et construction de l'École des Ponts ParisTech, j'ai réalisé mon projet de fin d'études au sein de l'entreprise Alliages & Territoires. L'entreprise Alliages & Territoires était la société porteuse du projet EuropaCity.

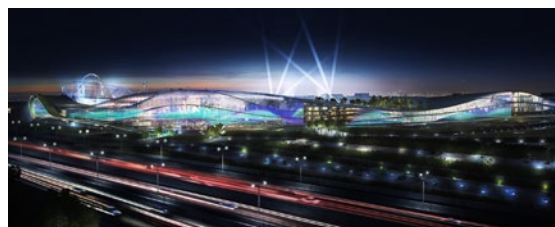
Missions et objectifs

Lors de mon projet de fin d'études chez Alliages & Territoires, durant lequel je devais *a priori* travailler sur des questions économiques et programmatiques, Emmanuel Macron a pris la décision d'arrêter le projet EuropaCity. J'ai donc choisi de profiter de cet événement exceptionnel et de consacrer mon projet de fin d'études à l'analyse des facteurs de réussite et d'échec de ce projet, qu'ils soient économiques, politiques, sociétaux, liés à des enjeux de pouvoir et de management.

Résumé

Ce projet de fin d'études traite de la gestion des facteurs de succès et d'échec d'un grand projet d'aménagement en se focalisant sur le cas d'EuropaCity. Le parti pris est de diviser les facteurs de succès et d'échec en deux catégories : économique et non-économique. En effet, ces deux éléments sont aussi essentiels dans la réussite d'un projet comme EuropaCity. Après une première partie de description détaillée du projet EuropaCity, de l'entreprise porteuse du projet, Alliages & Territoires, et de son histoire, la seconde partie consiste en une analyse économique, programmatique et stratégique du projet et aborde le cas particulier d'EuropaCity comme exemple de ce que peut

être une étude de potentiel d'un parc de loisirs. Plusieurs points sont évoqués et détaillés, nous parlons d'abord de la localisation du complexe de loisir, du marché cible, de la concurrence, des tendances quant à la vision du projet, des destinations similaires et enfin du *business plan*. En troisième partie, sont abordés les autres facteurs de succès et d'échecs, à savoir le cadre réglementaire et les procédures légales ou stratégiques, la coordination générale c'est-à-dire des liens entre les différents acteurs du projet, et les impacts sociaux, économiques et environnementaux. Enfin, dans une dernière partie, est proposée une méthode d'étude de potentiel élargie sous la forme d'un bilan. Cette méthode propose de combiner les facteurs économiques et non-économiques dès la conception programmatique et stratégique d'un projet de l'envergure d'EuropaCity.



« La vie nocturne d'EuropaCity » © EuropaCity Flickr, CC-BY 2.0. (source : Flickr).

The success and failure factors of a major project: the case of EuropaCity

Analyse • Planning • Business Model • EuropaCity

Context

As part of the double-degree engineering program affiliated with the Civil Engineering and Construction Department (GCC) of the École des Ponts ParisTech, I completed my graduation project (PFE) at the company Alliages & Territoires. The company Alliages & Territoires is the carrier of the EuropaCity project.

Missions and goals

During my PFE at Alliages & Territoires, during which I was supposed to work on economic and programmatic issues, Emmanuel Macron took the decision to stop the EuropaCity project. So I chose to take advantage of this exceptional event and to dedicate my final year project to the analysis of the factors of success and failure of this project, whether economic, political, societal, or related to issues of power and management.

Abstract

This final year project deals with the management of the success and failure factors of a major development project, focusing on the case of EuropaCity. Here we chose to divide the factors of success and failure into two categories: economic and non-economic. Indeed, these two elements are equally essential to the success of a project like EuropaCity. First a detailed description of the EuropaCity project, of the company behind this project (Alliages & Territoires) and of its history was

made. The second part consists of an economic, programmatic and strategic analysis of the project and deals with the particular case of EuropaCity, as an example of what a potential study of a leisure park can be. Several points are mentioned and detailed, first the location of the leisure complex, the target market, the competition, trends in the vision of the project, similar destinations and finally the business plan are discussed. In the third part, other factors of success and failure are detailed, namely: the regulatory framework and legal or strategic procedures, general coordination, i.e. links between the different actors of the project, and the social, economic and environmental impacts. Finally, a method of extended potential study is proposed in the form of an assessment. This method proposes to combine economic and non-economic factors from the programmatic and strategic design of a project of the scale of EuropaCity.



EuropaCity : le futur quartier des loisirs du Grand Paris © EuropaCity Flickr, CC-BY 2.0. (source : Flickr).

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

FUSTIER, Bernard, 1989. *Aide à la décision en présence de critères non mesurables (deux approches)* [en ligne]. Rapport de recherche de l'Institut de mathématiques économiques (IME), 39 p. Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01534285> [consulté le 23 mars 2020].

DUSSAUX, Maryvonne, 2019. *Le développement durable : une controverse socio-politique* [en ligne]. Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02058994> [consulté le 23 mars 2020].

ÉLYSÉE. *Conseil de défense écologique du jeudi 7 novembre 2019* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2019/11/07/conseil-de-defense-ecologique-du-jeudi-7-novembre-2019> [consulté le 23 mars 2020].



Johnny SAAD

Élève ingénieur double diplôme
École supérieure des ingénieurs de Beyrouth,
université Saint-Joseph (USJ), Liban

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Strategy& (formerly Booz&Co)

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Zahi AWAD, manager

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Thomas CUINGNET, enseignant, École des Ponts ParisTech



Méga projet de construction

Faisabilité financière et partenariat public privé

Immobilier • Construction • Financement de projet •
Partenariat Public privé • Infrastructure

Contexte

Notre client, un fonds souverain de l'un des pays du Golfe, cherche à développer des centres-villes uniques et dynamiques pour plusieurs villes du pays. Chaque centre-ville devrait s'inspirer des leçons tirées de ce que les villes les plus conviviales du monde ont de mieux.

Dans ce contexte, notre rôle de cabinet de conseil en stratégie consistait à fournir à notre client un soutien en matière de conseil dans l'élaboration du concept économique des nouveaux centres-villes du pays.

Missions et objectifs

De nombreuses problématiques ont été définies concernant la définition du concept et la faisabilité financière. Quel est le thème du centre-ville que nous construisons ? Pour qui le faisons-nous ? Quelle est la composition de l'actif à construire ? Quel est le scénario d'investissement le plus attractif ?

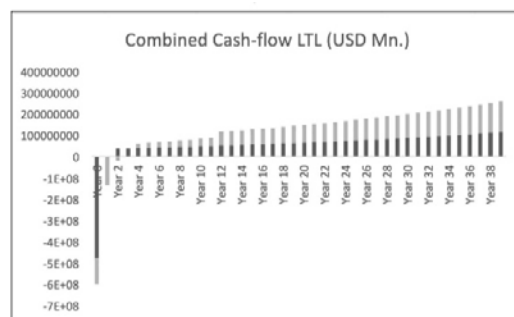
L'objectif de ce projet de fin d'études est donc lié à la création du concept économique du projet. Il s'agissait de :

- fournir une étude initiale des principaux segments de l'offre et de la demande dans la ville ;
- définir les caractéristiques spécifiques (objectifs, composantes, domaines, etc.) du projet ;
- définir le concept et les facteurs de succès, y compris les principaux segments et les caractéristiques stratégiques du projet ;
- concevoir le calendrier préliminaire, la stratégie de financement et fournir une première évaluation des rendements.

Résumé

La première partie de ce projet de fin d'études permet de définir le concept, les composantes, les nœuds d'attraction du projet ainsi que l'approche adoptée pour définir le concept de méga-projet de construction, les lacunes globales du marché immobilier, les opportunités pour la ville et les résultats des groupes de discussion avec les investisseurs, les développeurs et les opérateurs.

La deuxième partie permet d'affiner le concept et de choisir le scénario d'investissement et la composition de l'actif les plus lucratifs en fonction de l'attractivité financière des différents types d'actifs. Cette partie comprend les différentes structures d'investissement que j'ai évaluées en fonction de leur rendement et de la meilleure analyse d'utilisation optimale (HBU) de la parcelle, en plus de l'impact du projet sur le marché immobilier et les conditions macroéconomiques.



Combined cash-flow LTL (USD Mn) © Johnny Saad, 2019.

Mega construction project

Financial feasibility and public private partnership

Real estate • Construction • Project Finance •
Public-private partnership • Infrastructure

Context

Our client, a sovereign wealth fund of one of the GCC countries, is looking to develop unique and vibrant downtowns for several cities across the country. Each downtown should draw on lessons learned from what the world's most livable cities get right.

In this context, our role as a strategy consulting firm was to ensure consultancy support for our client in developing the economic concept of the new downtowns across the country.

Missions and goals

After taking a step back from the project, multiple problematics were defined related to concept definition and financial feasibility. Questions such as « What is the theme of the downtown we are building? », « For who are we doing it? », « What is the asset mix to be built? », « What is the most attractive investment scenario? » were asked.

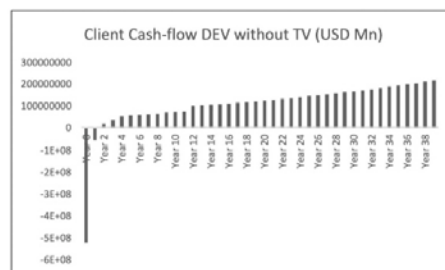
The objective was developed and linked to creating the economic concept of the project by:

- providing an initial study of the main segments of supply & demand in the city;
- defining the specific characteristics (e.g., objectives, components, area) of the project;
- analyzing global and regional benchmarks and derive key insights from the lesson learned;
- defining the concept and success factors, including the main segments and strategic features of the project;
- designing the preliminary timeline, funding strategy and providing an initial assessment of the returns.

Abstract

The first section (city downtown concept) serves to define the concept, key components and attraction nodes of the project and will include the approach used for defining the concept of a mega construction project, the overall real estate market gaps and detailed opportunities for the City, the lessons learned derived from selected global benchmarks that are relevant to the proposed project and the results of focus groups with investors, developers and operators.

The second section (financial feasibility) serves to refine the concept and choose the most lucrative investment scenario and asset mix based on the financial attractiveness of the different types of assets. The section includes the different investment structures that I assessed based on their return and the highest and best use analysis (HBU) for the plot in addition to the impact of the project on the real estate market and macro-economy.



Client cash-flow Dev without Terminal Value (USD Mn) © Johnny Saad, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Bastien SALESSE

Élève ingénieur concours commun
Parcours Infrastructure Project Finance

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Eiffage Concessions

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Florent JANSSEN, directeur du développement – Infrastructures et international

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Géry DEFFONTAINES, chercheur, GERPISA – ENS Cachan



Les concessions aéroportuaires

Compréhension des enjeux et du cadre réglementaire français

Concession • Aéroport • Développement • Régulation • Environnement

Contexte

Ce projet de fin d'études m'a permis de travailler sur le secteur aéroportuaire par la participation à deux projets : le rachat des parts de l'aéroport de Toulouse et l'appel d'offre de l'aéroport de Lille. Ces deux projets s'inscrivent au cœur de la nouvelle stratégie aéroportuaire d'Eiffage. En effet, afin de diversifier son activité de concession, Eiffage a pris la décision de s'intéresser à ce secteur.

Missions et objectifs

Premièrement, dans le cadre de la réponse à l'appel d'offre pour l'aéroport de Lille, j'ai participé au montage de l'offre. Deuxièmement, dans le cadre du rachat des parts de l'aéroport de Toulouse, j'ai principalement travaillé sur la compréhension du cadre réglementaire aéroportuaire. Enfin, dans un cadre plus prospectif, j'ai réalisé une étude sur les aéroports régionaux français. Ces différentes missions m'ont permis de répondre à l'objectif global de ce projet de fin d'études : la compréhension du secteur aéroportuaire.

Résumé

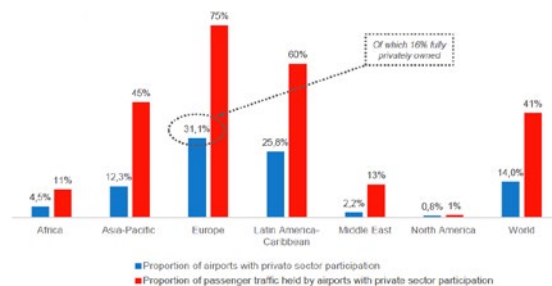
Le transport aérien est un secteur en forte croissance aussi bien en Europe qu'à l'international. Ainsi, le secteur des aéroports va devoir relever de nombreux défis pour faire face à cette croissance : des défis de capacité, de rentabilité et environnementaux.

Dans ce contexte, la compréhension de la régulation économique et environnementale des aéroports en France est primordiale. Or cette régulation suit actuellement des évolutions majeures.

D'un côté, la régulation économique est remise en question dans un contexte de concurrence accru. Cette

régulation consiste en l'homologation par les entités régulatrices de l'État du tarif des redevances aéroportuaires proposées par l'aéroport aux compagnies aériennes. Le plafond d'évolution des redevances aéroportuaires est défini par rapport à un périmètre d'activités de l'exploitation aéroportuaire. C'est sur ce périmètre qu'est appréciée la notion fondamentale de « juste rémunération du capital investi » que doivent respecter les redevances perçues. Ainsi, deux sujets majeurs en réflexion apparaissent sur la définition de ce périmètre et sur la définition du taux de « juste rémunération du capital investi ».

D'un autre côté, afin de limiter les nuisances sonores et environnementales, différentes taxes sont mises en place : c'est ce qu'on appelle la régulation environnementale. De plus, de nombreux groupes de travail, notamment dans le cadre des assises du transport aérien français de 2018, ont été mis en place afin de compléter cette réglementation. Cette régulation est en évolution rapide en raison d'une prise de conscience de plus en plus importante par les citoyens de cette question environnementale.



Part des aéroports/du trafic avec des participations privées en fonction des régions du monde en 2017 © Bastien Salesse, 2019. Données d'Eiffage.

Airport concessions

Understanding the stakes and the French regulatory framework

Airport • Concession • Development • Regulation • Environment

Context

This final year project has enabled me to work in the airport sector by participating in two projects: the buyout of the shares of Toulouse airport and the tender for Lille airport. These two projects are at the heart of Eiffage's new airport strategy. Indeed, in order to diversify its concession business, Eiffage has decided to take an interest in this sector.

Missions and goals

Firstly, as part of the response to the tender for Lille airport, I took part in putting together the bid. Secondly, in the context of the purchase of shares in Toulouse airport, I mainly worked on understanding the airport regulatory framework. Finally, in a more prospective framework, I carried out a study on French regional airports. These different missions allowed me to meet the overall objective of my final year project: understanding the airport sector.

Abstract

Air transport is a fast-growing sector both in Europe and internationally. As such, the airport sector will face many challenges to cope with this growth: capacity, profitability and environmental challenges. In this context, understanding the economic and environmental regulation of airports in France is essential. This regulation is currently undergoing major changes.

On the one hand, economic regulation is questioned in a context of rising competition. This

regulation consists of the approval by the State regulatory bodies of the tariff of airport charges proposed by the airport to airlines. The ceiling for the evolution of airport charges is defined in relation to a perimeter of airport operation activities. It is within this perimeter that the fundamental notion of a "fair return on capital invested" is assessed, which the fees collected must respect. Thus, two major subjects under consideration appear in the definition of this perimeter and in the definition of the rate of "fair return on invested capital".

On the other hand, in order to limit noise and environmental pollution, various taxes are being introduced: it is what we call environmental regulation. In addition, a number of working groups have been set up, particularly in the context of the 2018 French air transport conference, to complete this regulation. It is evolving fastly due to the growing awareness of citizens of this environmental issue.



Aéroport Charles de Gaulle (Roissy), Propriété d'Aéroports de Paris © Dmitry Avdeev, CC-BY-SA 3.0 GFDL (source : Wikimedia Commons).

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

Aéroports européens : une compétition toujours plus vive [en ligne], 2017. Synopsis. ACI (Airports Council International), 36 p. Disponible à l'adresse : https://www.aeroport.fr/uploads/images/photos%20dossiers/ACI_COMPETITION_SYNOPSIS_FR_WEB_V3.pdf [consulté le 7.05.2020].

Rapport sur le maillage aéroportuaire français [en ligne], 2017. Conseil supérieur de l'aviation civile et CGET, 82 p. Disponible à l'adresse : <https://www.cget.gouv.fr/sites/cget.gouv.fr/files/atoms/files/rapport-maillage-aeroportuaire-francais-2017.pdf> [consulté le 7.05.2020].

MALAVOTI, Estelle, 2017. Analyse économique de la régulation des redevances aéroportuaires [en ligne]. SCARA, CSTA, 48 p. Disponible à l'adresse : <http://www.scara.aero/analyse-economique-de-la-regulation-des-redevances-aeroportuaires/> [consulté le 7.05.2020].



Maria BORISOVA NENOVA

Élève ingénieure double diplôme
Université d'architecture, de génie civil et de géodésie
de Sofia, Bulgarie

Promotion 2017

Mission en entreprise réalisée à
Spie Batignolles TPCI

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Bruno FOURNIER, responsable du service méthodes

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Valérie BONIFACE, enseignante, École des Ponts ParisTech



École des Ponts
ParisTech

Étude des méthodes de construction et calcul des ouvrages souterrains



Manutention • Puits blindé • Pression du béton • Massif de grue

Contexte

Ce travail théorique étudie les méthodes de réalisation des ouvrages souterrains et le calcul des ouvrages provisoires dans le cadre des projets du Grand Paris traités au sein du service Méthodes et Planification de Spie Batignolles TPCI. Ce rapport a un rôle principalement pédagogique permettant de mettre à disposition une boîte d'outils au sein du service afin de pouvoir enrichir les connaissances des équipes sur des sujets récurrents.

Missions et objectifs

Les sujets techniques sont présentés sous la forme de fiches techniques, réalisées dans le cadre de mon projet de fin d'études. Le travail est divisé en quatre chapitres :

1. manutention des éléments préfabriqués (cas pratiques) ;
2. calcul de la poussée du béton frais (étude théorique des paramètres) ;
3. calcul de pré-dimensionnement des puits blindés (cas pratiques) ;
4. calcul de de masse de grue à tour (étude théorique).

Résumé

Ce rapport fait l'état des études de méthodes de réalisation des ouvrages souterrains et des calculs des ouvrages provisoires, menées durant mon stage. Le but de ce rapport n'est pas de faire uniquement une présentation du dimensionnement selon les normes, mais il est une manière synthétique de présenter le raisonnement lors du calcul, ainsi que le principe de réalisation des structures dans le contexte souterrain.

La démarche choisie dans ce rapport est dans un premier temps de tracer le contexte professionnel, ainsi que d'ex-

poser brièvement le déroulement du projet, en donnant une idée des principaux axes d'étude et des approches adoptées durant ces 6 mois d'étude. Les sujets techniques sont présentés sous la forme de fiche techniques, réalisées dans le cadre de mon projet. Le travail est divisé en quatre chapitres, la manutention des éléments préfabriqués, le calcul de la poussée du béton frais, le calcul de pré-dimensionnement des puits blindés et le calcul de masse de grue à tour. Les chapitres sont complétés par des exemples en annexe du mémoire. Ce rapport se termine par une conclusion, qui résume les apports de ce stage, et par mon bilan personnel.



Schéma 3D d'un puits blindé © Maria Borisova Nenova, août 2017.

Study of construction methods and design of underground structures

Handling of prefabricated pieces • Fresh concrete lateral pressure •
Shafting • Shallow foundation for cranes

Context

This theoretical work studies the methods of construction of underground structures and the design of temporary structures within the Grand Paris project, executed at Spie Batignolles TPCI, France. The role of the report is mainly pedagogical, making it possible to provide a toolbox for the department, as a knowledge reference for teams working on recurring subjects.

Missions and goals

The technical subjects are presented in the form of technical sheets, produced as part of my final year project. The work is divided into four chapters:

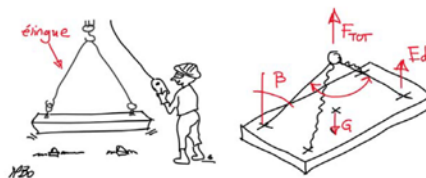
1. handling of prefabricated elements;
2. calculation of the thrust of fresh concrete;
3. pre-dimensioning calculation for armored wells;
4. calculation of tower crane mass.

Abstract

This report describes the studies of methods for carrying out the construction of underground structures and the design of temporary structures related to the process. The purpose of this report is not only to present the design process accord-

ing to the building standards, but in a synthetic way to present the reasoning behind, as well as the principle of realization of the structures in the underground context.

The approach chosen in this report will be to first outline the professional context, as well as briefly describe the progress of the construction process, giving an idea of the main lines of study and the approaches adopted during these six months of study. The technical subjects will be presented in the form of technical sheets, produced as part of my project. The work is divided into four chapters, the handling of the prefabricated elements, the estimation of fresh concrete pressure, the design of the temporary shafts and those of the tower crane foundations. The chapters are completed with examples. This report ends with a conclusion, which summarizes the contributions of this final year project, and with my personal assessment.



Principe de levage et répartition des efforts © Maria Borisova Nenoa, août 2017.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

AFNOR, octobre 2008. Conception et utilisation d'inserts pour le levage et la manutention des éléments préfabriqués en béton. FD CEN/TR 15728. Paris : AFNOR, 46 p.



Mehdi ASSAD

Élève ingénieur Polytechnique

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
ArcelorMittal Luxembourg

Tuteurs professionnels • *Organization Tutors* :
Mike TIBOLT et Riccardo ZANON, Senior Research Engineer

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Jacques COMBAULT, enseignant, École des Ponts ParisTech



Création d'un outil d'analyse et d'optimisation de ponts en arc auto-ancrés

Pont en arche • Outil numérique • Dimensionnement

Contexte

Une étude réalisée par Max Herzog en 1975 sur les ponts-routes a montré que les ponts en arc à suspentes croisées était une solution économiquement viable pour des portées comprises entre 50 et 100 m. À ce jour, Il n'existe aucun moyen permettant de facilement optimiser la position et les angles des points d'attache pour les ponts en arche.

Missions et objectifs

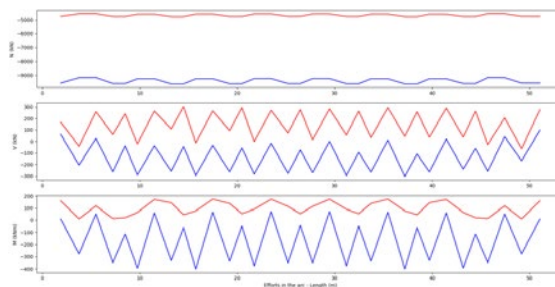
Ce travail de fin d'études porte sur la création d'un outil d'analyse de ponts en arc auto-ancrés en éléments finis sur Python. Il permettra, pour ArcelorMittal, de proposer plus rapidement des alternatives à ses clients lors de la réalisation d'ouvrages d'arts pour des franchissements allant de 40 à 100 m.

Résumé

Un pont en arc à suspentes croisées est comparable à un pont *bowstring* : l'arc reprend les efforts en compression et le tablier reprend les efforts en traction. Les suspentes quant à elles permettent de réduire la flexion dans le tablier et donc d'avoir des tabliers plus élancés. L'idée de Per Tveit durant sa thèse en 1955 était d'incliner des suspentes et d'en croiser certaines afin de mitiger au maximum la flexion dans le tablier et de reprendre un maximum d'effort sous la forme de traction dans les suspentes. Pour un même projet de pont-route, une solution de pont à poutres de 100 m utiliserait plus de 300 kg/m² d'acier rapporté à la surface du tablier, là où le pont arc à suspentes croisées n'en consommerait que 150 kg/

m². Partant de ce constat, l'étude de cette typologie de ponts présente un enjeu majeur dans le développement de ponts à petite et moyenne portée. C'est d'ailleurs l'élément principal qui a motivé ce travail de fin d'études. La position, le nombre et l'inclinaison des suspentes est un élément déterminant dans le fonctionnement des ponts en arche.

Ce travail de fin d'études porte sur la création d'un outil d'analyse de ponts en arc auto-ancrés en éléments finis en Python. Nous répondons à l'aide de ce logiciel à un double objectif : le premier est de permettre à des concepteurs de pouvoir comparer facilement plusieurs solutions de ponts en arc pour leurs projets en cours et le second est de comparer économiquement plusieurs solutions de dispositions de suspentes (verticales, radiales et à suspentes croisées).



Enveloppe des efforts ELU dans l'arc - maximum ULS efforts in the arch
© Mehdi Assad, 2019.

Design optimization of arc bridges

Arch bridge • Numerical tool • Design

Context

A study by Max Herzog in 1975 on road bridges showed that cross-hanging arch bridges were an economically viable solution for spans between 50 and 100 m. To date, there is no easy way to optimise the position and angles of the attachment points for arch bridges.

Missions and goals

The subject of my work is the creation of a tool for the finite element analysis of bowstring bridges on Python. It will enable ArcelorMittal to propose alternatives to its customers when designing bridges between 50 and 100 m.

Abstract

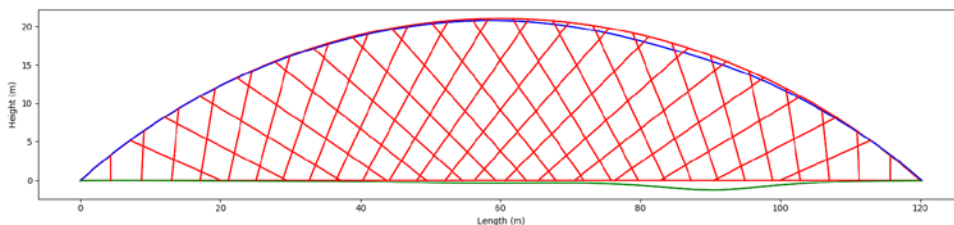
A network arch bridge is comparable to a bowstring bridge: the arch takes up the compressive forces and the deck takes up the tensile forces. The hangers reduce the bending in the deck and therefore allow for a slender deck. The idea of Per

Tveit during his thesis in 1955 was to incline and cross at least two hangers in order to mitigate the maximum bending in the deck and convert it in the form of traction in the hangers.

For two identical road bridge projects, a 100 m girder bridge would use more than 300 kg/m² of steel per deck surface, where a network arch bridge would only use 150 kg/m².

Based on this observation, the study of this type of bridge presents a major challenge in the development of small to medium span bridges. This is the main element that motivated my study. The position, number and inclination of the hangers is a determining element in the operation of arch bridges.

The subject of this project is the creation of a tool for the finite element analysis of arch bridges using Python. This will allow designers to easily compare several arch bridge designs for their on-going projects and to optimize bridge geometry for several line arrangements (vertical, radial and network).



Déformation de l'arc soumis à une charge roulante - Arc deformation under traffic load © Mehdi Assad, 2019.

Éléments de bibliographie

HERZOG, Max, 1975. *Stahlgewichte moderner Eisenbahn- und Strassenbrücken* (« Steel Weights of Modern Rail and Road Bridges »). *Der Stahlbau*, 1975, vol. 44, pp. 280–282.

TVEIT, Per, 1987. *The Design of Network Arches*. *The Structural Engineering*, 1966, vol. 44, n° 7, pp. 247–259.

SCHANACK, F. et BRUNN, B., 2009. *Analysis of the structural performance of network arch bridges*. *Indian concrete journal*, 2009, vol. 83, n° 1, pp. 7–13.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Claire BRESSY

Formation complémentaire intégrée pour les polytechniciens civils

Promotion 2018

Mission en entreprise réalisée à
Eiffage Métal

Tutrice professionnelle • *Organization Tutor* :
Cécilia CORNILLIET, ingénieur d'affaires

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Mauricio BROCATO, responsable de module, École des Ponts ParisTech



École des Ponts
ParisTech

Hôtel de la Marine : verrière sous-tendue

Métal • Modélisation numérique • Monument historique • Sous-tension • Verrière

Contexte

Dans le contexte de la réhabilitation de l'hôtel de la Marine, il a été décidé d'ériger une verrière surplombant l'une de ses cours. Celle-ci a pour fonction d'amener la lumière dans cet espace confiné par un jeu de poutres habillées de miroirs. Le projet architectural privilégiant légèreté et luminosité impose de limiter au maximum les éléments de structure. L'utilisation de la sous-tension dans ce cas prend tout son sens : les tirants et contreventements vont permettre d'alléger le dimensionnement des poutres sous les cas de charges les plus défavorables.

Missions et objectifs

Le sujet de ce projet de fin d'études a alors été d'étudier la mise en place de cette résille de sous-tension, tout en appréhendant son intérêt tant architectural que structurel. On s'est ainsi demandé dans quelle mesure les contraintes liées au projet architectural ainsi qu'aux données existantes ont conditionné les dimensionnements ainsi que les méthodes de montage. Au fondement de la prise en compte de ces facteurs est le mécanisme de sous tension : le projet de fin d'études a pour objet de présenter ses intérêts, tant dans un cadre général qu'au niveau du projet, mais aussi d'étudier sa modélisation numérique ainsi que sa mise en place.

Résumé

On se propose ici d'étudier un mécanisme de sous-tension dans le contexte particulier d'un monument historique. On présente ses intérêts tant au niveau technique qu'architectural. Sont ainsi présentées les étapes associées à la mise en place d'une résille inférieure sur la verrière de l'hôtel de la Marine. De la modélisation au suivi des déformations en passant par le montage, nous explorons les aspects propres aux installations métalliques sous-tendues. Nous montrons ainsi en quoi les résilles de sous-tension permettent de réaliser des ouvrages hors norme dans des cadres contraints tout en exposant les difficultés associées à leur mise en place (de l'étape de modélisation à l'élaboration des méthodes de montage, etc.). L'accent est porté sur les méthodes de calcul et de suivi permettant d'atteindre une précision suffisante à l'installation d'un tel ouvrage.

Hôtel de la Marine : canopy

**Canopy • Numerical modeling • National heritage site •
Tension cables • Steel structures**

Context

In the context of the Hôtel de la Marine's rehabilitation, a canopy was erected above one of its courtyards. Its function is to bring light into this wedged space by the means of a set of beams covered by mirrors. The architectural project, because it favors lightness and brightness, requires limiting the structural elements as much as possible. The use of tension cables thus takes on its full role: it allows to lighten the dimensioning of the beams under the most unfavorable load cases.

Missions and goals

The subject then was to study the implementation of this cables mesh, while understanding its architectural and structural interest. We therefore studied the constraints linked to the architectural project, and how the existing data conditioned the sizing, and the mounting methods. The purpose of this final year project is to present the interests of tension cables, both in a general framework and at project level, but also to study its numerical modeling and its implementation in place.

Abstract

A mechanism of tension in the particular context of national heritage sites is studied. Its interest both from a technical and an architectural level are a real opportunity for non-standard construction. The steps associated with the installation of a lower system of tension on the Hôtel de la Marine canopy are thus presented. From modeling to tracking deformations, including assembly, we explore the aspects specific to subtended metal installations. We thus show how under-tension systems make it possible to produce non-standard works in constrained contexts while exploring the difficulties associated with their installation. Emphasis will be placed on the calculation and monitoring methods allowing sufficient accuracy to be achieved when installing such a structure.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

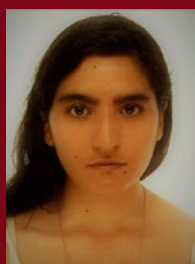
**Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization**

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Sarah FAHLAOU

Élève ingénieure concours commun

Promotion 2019

Projet d'ingénieur en laboratoire réalisé à
Laboratoire Kawaguchi, IIS, université de Tokyo

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Ken'ichi KAWAGUCHI, maître de conférences/professeur

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Denis DUHAMEL, chercheur, laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech



Optimisation de forme multidisciplinaire pour des systèmes acoustiques et structurels

Optimisation de forme • Optimisation paramétrique • Optimisation géométrique •
Acoustique • Optimisation structurelle

Contexte

L'optimisation de forme appliquée à l'architecture est un sujet relativement nouveau mais se focalise souvent sur les performances structurelles de la structure à optimiser, ce qui donne lieu à des projets remarquables tels que le Teshima Art Museum, au Japon. Néanmoins, ces structures sont souvent conçues pour accueillir du public et présentent une très mauvaise acoustique. En conséquence, l'architecte est contraint d'utiliser des solutions « béquilles » telles que l'ajout de panneaux acoustiques suspendus, qui se révèlent bien souvent chers, peu efficaces et allant à l'encontre de l'intention architecturale.

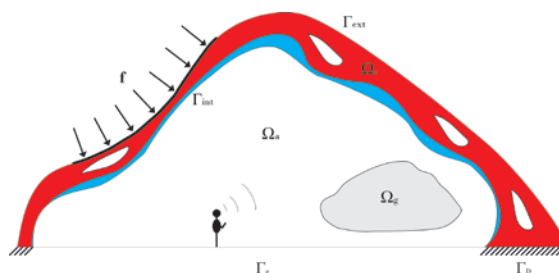
Missions et objectifs

Ce projet de fin d'études a pour but d'optimiser une forme architecturale à la fois pour ses performances structurelles et acoustiques. Il s'agira donc de résoudre un problème d'optimisation multi-objectif, en considérant d'une part la *compliance* pour la structure et le niveau de décibels pour l'acoustique. On utilise donc une combinaison linéaire des deux fonctions coût, notée $j=j_1+j_2$ par la suite.

Résumé

La première approche utilisant une paramétrisation des frontières a donné des résultats intéressants, avec la possibilité de diminuer significativement le niveau de décibels dans la pièce avec une forme finale légèrement moins optimisée structurellement que celle obtenue en considérant uniquement la *compliance*. De plus, les algorithmes dits « *derivative-free* » sont plus aisés à implémenter. Néanmoins, ces recherches heuristiques étaient trop coûteuses avec environ 2 heures de calcul pour chaque

forme. L'optimisation de forme géométrique a permis un temps de calcul beaucoup plus rapide (2 minutes et demie), ce qui a permis de multiples simulations avec variation du coefficient de combinaison linéaire des deux fonctions coût pour obtenir un ensemble de solutions de Pareto. Le front de Pareto donne un ensemble final de formes optimisées à partir desquelles l'ingénieur/architecte peut sélectionner celle qui convient le mieux aux contraintes du projet. La non-convexité du problème a révélé un résultat surprenant : nous avons pu obtenir une forme avec une meilleure *compliance* lorsqu'on optimise à la fois la structure et l'acoustique que la forme obtenue en optimisant uniquement pour la structure. Ce résultat peut être très intéressant pour le concepteur, car il pourrait obtenir une meilleure forme en prenant en compte plusieurs critères au lieu de se concentrer sur les performances structurelles – en incluant tout domaine qui joue un rôle dans l'architecture. Cette conception pluridisciplinaire peut améliorer le confort d'un bâtiment ainsi que son esthétique et ses performances économiques et écologiques.



Schematic representation of the systems considered © Sarah Fahlaoui, 2019.

Multi-disciplinary Shape Optimization for Acoustic and Structural Systems

Shape optimization • Parametric optimization •
Acoustics • Structural optimization

Context

Very interested in the field of shape optimization applied to architecture, this final year project was an opportunity for me to explore this field. Shape optimization of a structure is often focused on the structural performance, leading to projects with very good structural performance but poor acoustics. The acoustic aspect is only tackled afterward, leading to the use of acoustic artifacts such as suspended ceiling panels. Yet, these solutions often go against the original design intent, are expensive and not necessarily the most efficient.

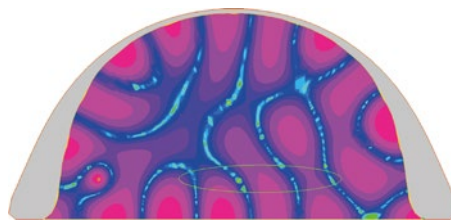
Missions and goals

The aim of this project was to optimize a shape both for its structural performance (using as little material as possible) and its acoustic performance (reducing the noise). We first used parametric optimization with derivative-free algorithms, then implemented geometric shape optimization while tackling the issue of multi-criteria optimization.

Abstract

We minimized both the compliance of the structure and the decibel level in some areas of the room, using a linear combination of both objective functions. The first approach using a parametrization of the borders gave interesting results with the possibility of significantly decreasing the decibel level in the room with a final shape slightly less optimized structure-wise than the one obtained

when considering only the compliance. Besides, derivative-free algorithms are easier to implement. Yet, these heuristic searches were too costly with about 2 hours for each shape. The geometric shape optimization permitted a much quicker computing time (2 and a half minutes), which allowed multiple simulations with variation of the coefficient of the linear combination of the two cost functions to get a Pareto set of solutions. The Pareto front gives a final set of optimized shapes from which the designer can select the one best fitted for their design. The non-convexity of the problem revealed a surprising result: we could get a shape with a better compliance when optimizing both the structure and the acoustics than the shape obtained by optimizing only for the structure. This result can be very interesting for the designer, as they can get a better shape by taking into account multiple criteria instead of focusing on the structural performance - including any field that plays a role in architecture. This all-inclusive design can improve the comfort of a building as well as its aesthetics and its economic and ecological performances.



Optimized shape for $j = 0.9j_1 + 0.1j_2$ © Sarah Fahlaoui, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

ALLAIRE, Grégoire et SCHOENAUER, Marc, 2007. *Conception optimale de structures*. Mathématiques & applications, n°58. Berlin : Springer, 280 p.



Georgiana NOUREANU-BUCUR

Élève ingénieure double diplôme
Université technique de construction de Bucarest, Roumanie

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Vinci Construction Grands Projets (VCGP)

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Nicolas BSAIBES, ingénieur études

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Amade POUYA, chercheur, laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech



Dimensionnement des structures de connexion tunnel / rameau

Tunnel • Rameau • Éléments finis • Analyse paramétrique • Optimisation

Contexte

Tous les tunnels sont munis, pour des raisons de sécurité et de ventilation, de structures de connexion appelées rameaux. La jonction tunnel-rameau se réalise à travers une ouverture dans le revêtement du tunnel et la mise en place d'une structure massive en BA, capable de reprendre les efforts du terrain, du tunnel et de l'ouvrage linéaire. Au vu des interactions 3D de ces éléments, la complexité de l'étude des rameaux devient non négligeable.

Missions et objectifs

Dans le cadre des études structurelles en cours sur de nombreux rameaux, l'objectif de ce travail est de rechercher, dans un premier temps, une nouvelle solution de transfert d'efforts tunnel-rameau et, dans un deuxième temps, de définir une méthodologie adéquate et optimale de calcul de ces structures à partir des modèles aux éléments finis 3D.

Résumé

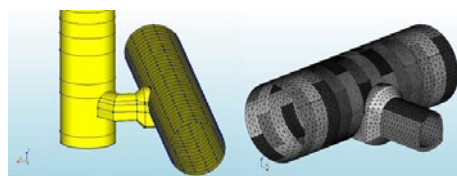
Les rameaux comportent habituellement deux parties : une section classique assurant le linéaire de la jonction et une section plus épaisse en béton armé au contact avec le tunnel, afin de reprendre à la fois les efforts du terrain, des anneaux du tunnel ouverts et de l'ouvrage linéaire.

Ce projet de fin d'études se concentre sur la compréhension de la zone de contact tunnel-rameau, appelée sec-

tion élargie, sur la définition d'une méthodologie de calcul pour cette zone et sur des optimisations possibles.

Dans un premier temps, un état des lieux des systèmes existants de connexion et de reprise des efforts tunnel-rameau a été réalisé, dans l'objectif de rechercher une nouvelle solution de transfert d'efforts entre le revêtement du tunnel et celui du rameau, avec application immédiate sur un projet actuellement en cours. Ensuite cette solution et les vérifications nécessaires ont été développées pour l'implémentation pratique sur site, la méthode de reprise des charges faisant l'objet d'un futur brevet de Vinci.

Dans un deuxième temps, nous avons procédé à la définition d'une méthodologie de dimensionnement des structures en béton armé à disposer. Sur un cas de base, d'un projet existant, une étude complète a été menée. Enfin, l'optimisation du ferrailage de cette structure a été recherchée, par le biais des analyses des paramètres déterminants sur des modèles aux éléments finis 3D.



Modélisation d'une connexion tunnel-rameau en DIANA 3D © Georgiana Noureanu-Bucur, 2019.

Design of connecting structures between a Tunnel and a Cross Passage

Tunnel • Cross Passage • Finite Element • Parametric Analysis • Optimization

Context

All tunnels are equipped, for ventilation and security reasons, with auxiliary structures called "cross-passages" (CP). The connexion between the tunnel and the CP is realized by the means of an opening into the tunnel lining and the casting of a massive reinforced concrete structure, capable of taking over the efforts of the soil, the tunnel and the linear auxiliary structure. In the light of the 3D interactions, the design's complexity of these connecting structures becomes significant.

Missions and goals

Considering the numerous structures of this type to be designed for ongoing projects, the aim of this work is, first of all, to research a new method of transferring efforts between the tunnel lining and the cross-passage lining. Secondly, this work will define an appropriate and optimized methodology for the cross-passage's lining design, starting from 3D finite elements analysis.

Abstract

In a tunnel, it is required to have connections called cross passages, either with an adjacent tunnel or with a shaft. It can be divided in two parts: the typical section composing the linear part and a heavily reinforced section for the connection. The latter is taking up the ground pressure, the opening in the tunnel rings and the linear section.

This final year project focuses on the understanding of this connection, on the definition of a design methodology and on optimizations.

First, to have a full understanding of this connection, and specifically on the way the effort is transit-

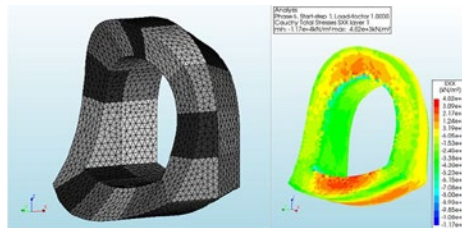
ing through, an overview of the existing ones was done. The aim was to have the basis to develop a new one, more structurally efficient and easier to implement. Apart from the R&D point of view, the design office had the opportunity to use it on a current project, imposing a tight deadline.

After the development of this new concept, it had to be checked and proven feasible. The latest 3D design technology was used to ensure the safe use on the on-going project. A close collaboration with the software provider was necessary to ensure the conformity of the results.

We then worked on the detailed design, to prepare a methodology for the many cases to study. The complete design of one case was conducted to validate the approach, before proceeding with the remaining CPs.

Finally, to understand the effect of the ground parameters, a parametric analysis was done with a 3D FEM. The main purpose was to assess their effect on the required reinforcement, in order to optimize it.

Following this study, the system is currently being patented by Vinci.



Modeling detail in DIANA 3D © Georgiana Noureanu-Bucur, 2019.

Bâtiment

Buildings

Géotechnique

Geotechnics

Gestion et
financement de
projets

Project management
and finance

Matériaux

Materials

Méthodes

Methods

Modélisation et
optimisation

Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures

Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale

Energy and
environmental
performance

Réhabilitation

Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

AFNOR, 2005. *Calcul des structures en béton, Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments*. NF EN 1992-1-1. Paris : AFNOR, 207 p.

FISCHER, Oliver et BEHNEN, Gereon, 2017. Cross-passage opening in TBM tunnels—concepts, load-bearing behaviour and experimental investigations. In : *Proceedings of the World Tunnel Congress (WTC) 2017—Surface challenges—Underground solutions*. Bergen, Norway.

PANET, Marc, 1995. *Le calcul des tunnels par la méthode convergence-confinement*. Paris : Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, 180 p.



Xuan Bach CHU

Élève ingénieur Polytechnique
Parcours Structure & Architecture

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Freysinet International & Cie

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Marco NOVARIN, directeur du département Structures et méthode

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Michel VIRLOGEUX, enseignant, École des Ponts ParisTech



Conception d'un pont poussé en BFUP avec intégration des nouvelles technologies

BFUP • Dalle gauffrée • Pont poussé • Précontrainte

Contexte

Le béton fibré à ultra hautes performances (BFUP) est un matériau innovant qui ouvre de nouvelles possibilités de construire des structures plus durables et plus efficaces. Il possède des propriétés mécaniques remarquables comme la résistance à la compression élevée et la ductilité en traction. Couplé à la technologie de la précontrainte, le BFUP permet de nouveaux concepts de tabliers de pont qui franchissent une portée plus longue.

Missions et objectifs

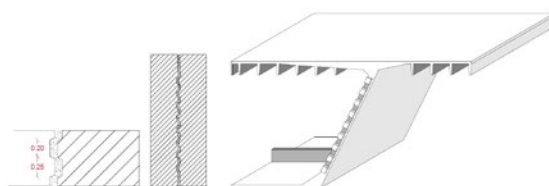
L'objectif de ce projet de fin d'études était d'effectuer l'étude d'un pont poussé avec intégration des nouvelles technologies (BFUP, précontrainte 2400 MPa). Ce projet avait pour but de faire des études sur une alternative avec intégration du BFUP pour le projet « Viaduc V6 » qui fait partie du projet « Pont suspendu Çanakkale 1915 » en Turquie. Le tablier se compose d'un caisson et la construction est réalisée par poussage. La portée du projet est de 108 m. La dalle gauffrée est intégrée dans le projet.

Résumé

Depuis quelque temps, le BFUP est de plus en plus présent dans la construction des ponts routiers. La portée des ouvrages augmente clairement au fil du temps. Le record actuel appartient au pont Batu 6 en Malaisie qui se compose d'un seul tablier de 100 m de portée. Jusqu'à présent, aucun pont poussé en BFUP n'a été réalisé. D'après l'étude effectuée, l'application du BFUP aux ponts poussés avec portée de 100 m est faisable en

respectant la recommandation AFGC avec des modifications de design et des méthodes constructives, comme la préfabrication de la dalle nervurée supérieure et une répartition dense des diaphragmes. De plus, la légèreté du tablier permet de réduire les matériaux des ouvrages d'appui, tels que les piles, les fondations et les culées. Au niveau du prix, un pont poussé en BFUP est très compétitif face à un pont poussé en béton ordinaire. De plus, un ouvrage en BFUP a une durée de vie nettement plus longue et nécessite moins de maintenance.

Néanmoins, l'un des problèmes majeurs dans la construction des ouvrages en BFUP est la fabrication. En effet, le retrait au jeune âge du BFUP est assez important, le coffrage devrait donc être plus sophistiqué que dans le cas du béton ordinaire. Le traitement thermique sera souvent demandé pour avoir un bon résultat du produit final.



Principe de jonction entre voussoirs © Xuan Bach Chu, 2019.

Design of ILM bridge using UHPFRC

ILM • Prestressed • Waffle slab • UHPFRC

Context

Ultra-high performance fiber reinforced concrete (UHPFRC) is an innovative material that gives new possibilities of designing thinner and more efficient structures, thanks to its high compressive strength and tensile ductility. Combining with prestressed and stay-cable technologies, new deck design using UHPFRC will allow the design of bridges with longer span.

Missions and goals

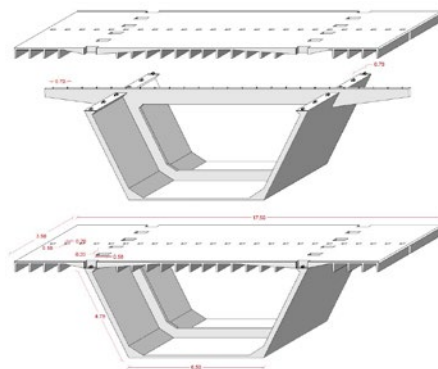
The goal of this final year project was to study an advanced bridge with the integration of new technologies (ultra-high performance fiber reinforced concrete (UHPFRC) and 2400 MPa prestressing tendon). The purpose of this project was to carry out studies on an alternative with integration of UHPFRC for the project "Viaduct V6" at Çanakkale, Turkey. The deck is a pedestal and the construction is carried out by incremental launching method. The maximum span of the project is 108 m. The waffle top slab is integrated into the project.

Abstract

Recently, UHPFRC is increasingly involved in the construction of road bridges. The scope of the works clearly increases over time. The current record belongs to the Batu 6 Bridge in Malaysia which is a single deck of 100 m span. Up until now, there is no bridge in UHPFRC that have been built by incremental launching method. According to the study carried out, application of UHPFRC

for ILM bridge deck that spans 100 m is feasible when respecting the AFGC recommendation and making few alterations to construction methods, such as precast of ribbed upper slab and lots of diaphragms. In addition, the lighter deck needs smaller substructure to support, hence reducing the material for piers, foundations and abutments. In terms of price, this new design is very competitive to a regular ILM bridge. In addition, UHPFRC has a longer service life and needs less maintenance.

Nevertheless, one of the major problems in this new design is manufacturing. Indeed, the shrinkage at early-age of BFUP is quite high, the formwork should therefore be more sophisticated than is the case of ordinary concrete. Heat treatment will often be requested to give a good result in the final product.



Assemblage d'un voussoir © Xuan Bach Chu, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

ASSOCIATION FRANÇAISE DE GÉNIE CIVIL, 2002. *Bétons fibrés à ultra-hautes performances*. Recommandations provisoires. Association française de génie civil.

CALGARO, Jean-Armand et VIRLOGEUX, Michel, 1987. *Projet et construction des ponts*. Presses de l'École nationale des ponts et chaussées.

SPASOJEVIC, Ana, 2008. *Structural implications of ultra-high performance fibre-reinforced concrete in bridge design*. École polytechnique fédérale de Lausanne.



José Manuel TORRES SERRANO

Élève ingénieur double diplôme
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
de l'Université polytechnique de Madrid, Espagne

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
ETSI Caminos, Canales y Puertos

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Miguel Ángel ASTIZ SUÁREZ, professeur

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Jérémy BLEYER, chercheur, laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech



Étude de la stabilité du trafic sur les ponts routiers

Influence du vent latéral

Vent latéral • Véhicule • Ponts • Sécurité • Confort

Contexte

Avec les progrès de l'ingénierie, des ponts sont construits dans des zones de plus en plus exposées aux conditions climatiques défavorables. L'un des principaux ennemis de la circulation sur les ponts routiers aujourd'hui est le vent, qui peut provoquer des accidents ou la fermeture directe de la structure parce qu'il n'est pas sûr d'y circuler.

Missions et objectifs

Mon travail a consisté à développer un système multi-corps dans Abaqus pour représenter le comportement dynamique du véhicule. Je devais également caractériser l'action du vent turbulent transversal, les irrégularités de la chaussée et la géométrie de deux ponts types.

L'objectif de ce travail est d'analyser l'influence du vent de travers sur les ponts routiers, tant sur la sécurité du trafic que sur le confort des passagers.

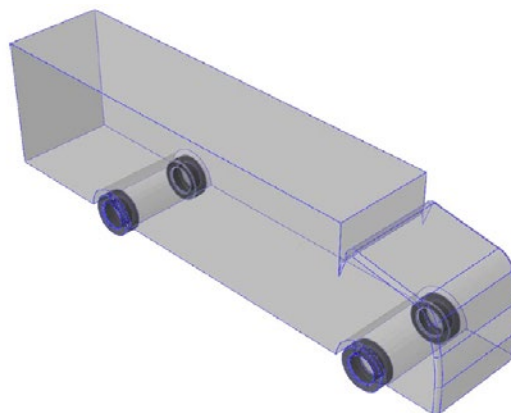
Résumé

Afin de connaître l'effet du vent sur la circulation routière, il est nécessaire de représenter adéquatement le comportement et les propriétés dynamiques des véhicules. À cette fin, un modèle de véhicule type proposé dans la littérature est modélisé, qui montre le comportement vertical et latéral d'un véhicule haut et léger, vulnérable à l'action du vent transversal.

L'excitation dynamique du vent turbulent n'est pas la seule que subit le véhicule lorsqu'il passe sur un pont. Les irrégularités de la chaussée et la déformation du tablier lui-même lors du passage du trafic sont d'autres sources

d'excitation qui vont modifier la réponse du véhicule. La caractérisation de ces deux actions, la manière dont elles influencent la dynamique verticale et latérale du véhicule ainsi que leur interaction avec l'action du vent de travers sont également abordées dans ce document.

Le principal résultat est la définition des *Critical Wind Curves* (CWC) en fonction de la vitesse de circulation du véhicule et de la vitesse du vent, qui séparent la zone de circulation sûre de la zone de circulation dangereuse pour le véhicule modélisé. Les résultats obtenus en termes d'accélération dans le corps du véhicule sont également analysés pour mesurer le degré de confort que le conducteur aurait en conduisant dans les conditions de sécurité définies par les CWC obtenues précédemment.



Abaqus vehicle model © José Manuel Torres Serrano, 2020.

Study of traffic stability on road bridges

Influence of crosswinds

Crosswind • Vehicle • Bridges • Safety • Comfort

Context

As engineering progresses, bridges are being built in areas increasingly exposed to adverse weather conditions. One of the main problems with traffic on road bridges today is the strong crosswind, which can cause accidents or directly lead to the closure of the structure because it is not safe to drive on it.

Missions and goals

My work consisted in developing a multi-body system in Abaqus to represent the dynamic behaviour of the vehicle. I also had to characterize the action of the turbulent crosswind, the irregularities of the pavement and the geometry of two typical bridges.

The objective of this work is to analyze the influence of crosswind on road bridges, both on traffic safety and passenger comfort.

Abstract

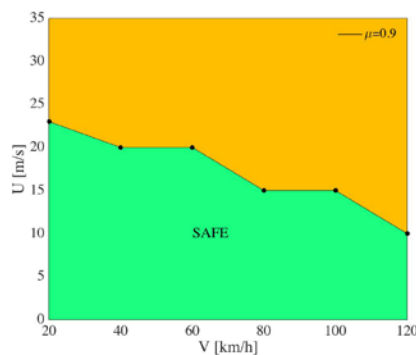
This document presents my study on the analysis of the influence of crosswind on traffic stability on road bridges, both with regard to vehicle safety and passenger comfort.

To know the effect of wind on road traffic it is necessary to adequately represent the behavior and dynamic properties of the vehicles. For this purpose, a model of a typical vehicle proposed in the literature is modelled, which collects the vertical and lateral behaviour of a high, light vehicle vulnerable to the action of crosswinds.

The dynamic excitation of the turbulent wind is not the only one experienced by the vehicle as

it passes over a bridge. The irregularities of the pavement and the deformation of the deck itself when traffic passes are other sources of excitation that will modify the response of the vehicle. Characterizing these two actions, seeing how they influence the vertical and lateral dynamics of the vehicle as well as their interaction with the action of the crosswind is also discussed in this study.

The main result is the definition of Critical Wind Curves as a function of the vehicle's driving speed and the wind velocity, which separate the safe driving zone from the unsafe driving zone for the modelled vehicle. The results obtained in terms of accelerations in the vehicle's body are also analyzed to measure the degree of comfort that the driver would have while driving under the safe driving conditions defined by the previously obtained Critical Wind Curves.



CWC in a rigid road over class A pavement © José Manuel Torres Serrano, 2020.

- Bâtiment
• Buildings
- Géotechnique
• Geotechnics
- Gestion et financement de projets
• Project management and finance
- Matériaux
• Materials
- Méthodes
• Methods
- Modélisation et optimisation
• Modelling and optimization
- Ouvrages d'art et infrastructures
• Engineering structures and infrastructures
- Performance énergétique et environnementale
• Energy and environmental performance
- Réhabilitation
• Rehabilitation
- Structures

Éléments de bibliographie

- COLEMAN, S. A. et BAKER, C. J., 1990. High sided road vehicles in cross winds. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* [en ligne], 1990, vol. 36, pp. 1383-1392. DOI 10.1016/0167-6105(90)90134-X [consulté le 15 avril 2020].
- OLIVA QUECEDO, Javier, 2011. *Estudio de la estabilidad del tráfico en puentes de carretera : influencia del viento lateral* [en ligne]. Thèse de doctorat : E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM). Disponible à l'adresse : <http://oa.upm.es/9526/> [consulté le 15 avril 2020].
- KAIMAL, J. C., WYNGAARD, J. C., IZUMI, Y. et COTÉ, O. R., 1972. Spectral characteristics of surface-layer turbulence. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1972, vol. 98, n° 417, p. 563-589. DOI 10.1002/qj.49709841707.



Marta GÜEMES MARTÍNEZ

Élève ingénieure double diplôme
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
de l'Université polytechnique de Madrid, Espagne

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Université polytechnique de Madrid

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Vicente NEGRO, enseignant

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pablo TASSI, enseignant, École des Ponts ParisTech



École des Ponts
ParisTech

L'énergie éolienne *offshore*

Analyse des ressources et création d'un parc éolien

Ressources marines • Éolien offshore • Fondation flottante

Contexte

L'énergie éolienne est aujourd'hui une ressource qui présente de nombreux avantages et une source d'énergie dont le développement futur est essentiel pour atteindre les objectifs de la consommation durable. En Asie, en Europe, en France et en Espagne, cette énergie est devenue de plus en plus importante, ainsi que, par conséquent, l'installation de parcs éoliens *offshore*.

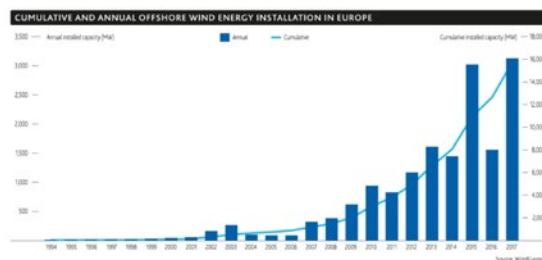
Missions et objectifs

Dans ce projet, nous nous concentrons sur l'étude du développement éventuel d'un parc éolien marin sur la côte espagnole. Pour cela, la ressource marine de ces côtes sera analysée, ainsi que la géotechnique, le vent et l'environnement de différentes zones. En évaluant les endroits les plus avantageux, nous pouvons faire une comparaison des zones les plus appropriées pour le développement du parc éolien, dans ce cas la Galice, Gérone, Cadix et Almería, dans le but d'atteindre le fonctionnement et la rentabilité du projet.

Résumé

Le développement de parcs éoliens *offshore* est actuellement une activité prometteuse. L'Europe dispose d'importantes ressources éoliennes en mer qui n'ont pas encore été exploitées et, jusqu'à présent, seule une petite partie de ces ressources est utilisée. Au cours des dernières décennies, le développement des parcs éoliens

offshore a été imposé sur des fondations posées, car leur technologie avait été davantage expérimentée, grâce à l'expérience de l'industrie pétrolière. Cependant, ces fondations ne peuvent être installées qu'à des profondeurs relativement faibles. L'apparition de nouvelles fondations flottantes promet d'être la voie fondamentale pour une expansion à de plus grandes profondeurs, où se trouve la majeure partie de la ressource éolienne. En Espagne, de grandes profondeurs sont atteintes à une faible distance de la côte et la mise en œuvre de la technologie flottante est idéale. C'est pourquoi nous avons sélectionné le meilleur emplacement pour l'implantation d'un parc éolien flottant sur ces côtes, grâce à un modèle éolien capable de générer de l'électricité de manière rentable.



Évolution de l'énergie *offshore* installée en Europe © WindEurope, 2017.

Offshore wind energy

Resource analysis and creation of a wind farm

Marine resources • Offshore wind • Floating foundation

Context

Wind energy is today a resource with many advantages and a source of energy whose future development is essential to achieve the objectives of sustainable consumption. In Asia, Europe, France and Spain, this energy has become increasingly important and hence the installation of offshore wind farms.

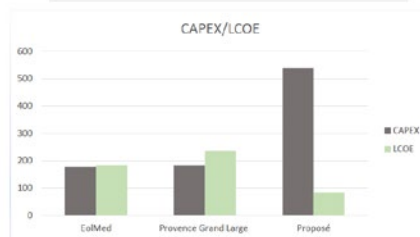
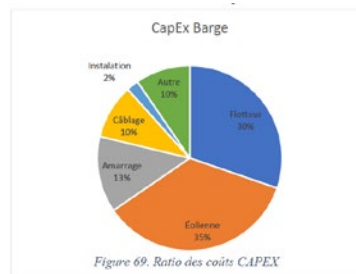
Missions and goals

In this final year project, we focus on the study of the possible development of an offshore wind farm on the Spanish coast. For this, the marine resources of these coasts will be analyzed, as well as the geotechnics, the wind and the environment of different areas. By evaluating the most advantageous places, we can make a comparison of the most suitable areas for the development of the wind farm, in this case in Galicia, Girona, Cádiz and Almería, with the aim of achieving the functioning and profitability of the project.

Abstract

The development of offshore wind farms is currently a promising activity with a lot of foresight in the future. Europe has significant wind resources at sea yet to be exploited, and so far only a small proportion of this sustainable resource is used. Over the past few decades, the development of offshore wind farms has been built on a fixed foundation, thanks to the experience gained from the building of the oil platforms. However, their founda-

tions are installed in relatively shallow depths. The emergence of new floating foundations promises to be the fundamental route for an expansion at greater depths, where most of the wind resource is located. In Spain, great depths are reached at a short distance from the coast and the implementation of floating technology is ideal. That is why we have selected this location as the best for the implementation of floating wind farms on these coasts, thanks to a wind model capable of generating electricity in a cost-effective way.



Analyse économique © Marta Güemes Martinez, 2019.

- Bâtiment
• Buildings
- Géotechnique
• Geotechnics
- Gestion et financement de projets
• Project management and finance
- Matériaux
• Materials
- Méthodes
• Methods
- Modélisation et optimisation
• Modelling and optimization
- Ouvrages d'art et infrastructures
• Engineering structures and infrastructures
- Performance énergétique et environnementale
• Energy and environmental performance
- Réhabilitation
• Rehabilitation
- Structures

Éléments de bibliographie

Carbon Trust, 2018. *Floating Wind Joint Industry Project* [en ligne]. Phase I Summary Report. Carbon trust. Disponible à l'adresse : <https://prod-drupal-files.storage.googleapis.com/documents/resource/public/Floating%20Wind%20Joint%20Industry%20Project%20-%20Summary%20Report%20Phase%201%20REPORT.pdf> [consulté le 15 avril]



Lucie LEFORT

Élève ingénieure concours commun

Promotion 2019

Début de doctorat réalisée à :
Efficacity

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Romain BONABE DE ROUGÉ, ingénieur d'études et de recherche

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Adélaïde FERAILLE, chercheuse, laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech



Validation des outils de simulation énergétique urbaine

Simulation énergétique urbaine • Validation • Données

Contexte

Dans un contexte de transition écologique, la recherche en simulation énergétique urbaine vise à créer des outils d'aide à la décision pour rendre les villes plus sobres. En effet, il s'agit de modéliser les consommations énergétiques d'un ensemble de bâtiments en milieu urbain en prenant en considération leurs caractéristiques constructives. Ceci permet ensuite d'évaluer des scénarii de maîtrise de la demande en énergie sur un quartier ou une ville.

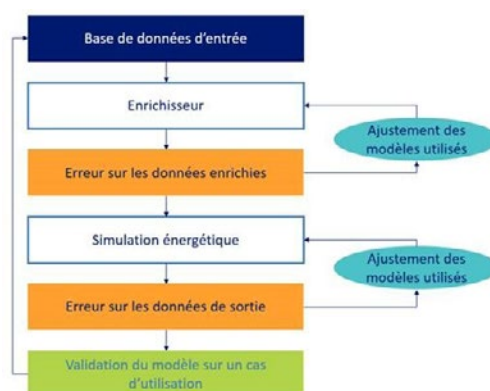
Missions et objectifs

L'objet de ce projet de fin d'études était de développer une méthode de validation des outils de simulation énergétique urbaine. Afin d'assurer la reproductibilité de la méthode proposée, celle-ci devait s'appuyer sur des données en open data. Enfin cette méthode devait être appliquée aux outils développés conjointement entre Efficacity et le CSTB : Qiriel et Dimosim.

Résumé

Le travail réalisé portait sur la validation des outils de simulation énergétique urbaine. Ces outils ont pour objectif de modéliser finement les consommations énergétiques des bâtiments d'un quartier ou d'une ville. Face à l'impossibilité d'instrumenter un quartier entier et au peu de données énergétiques disponibles, la validation de ces modèles n'est pas triviale. Un état de l'art concernant les outils de simulations énergétiques urbaines et les démarches de validation existantes a été réalisé au début de ce projet de fin d'études. Deux approches de validation ont ensuite

été abordées. Dans un premier temps, une démarche de validation comparative a été initiée en reprenant un cas d'études international, le DESTEST (District Energy Simulation Test). Cette étape a également permis la prise en main de l'outil de simulation énergétique urbaine, Dimosim. Dans un second temps, une méthodologie de validation empirique a été développée avec pour cas d'application l'ensemble des logements de Seine-et-Marne. Pour cette seconde partie, un travail conséquent a été mené avec l'outil Qiriel, qui permet de compléter les données manquantes mais nécessaires à la simulation.



Méthode de validation des outils de simulation énergétique urbaine © Lucie Lefort, 2019.

Validation of urban energy modelling tools

Urban building energy modelling • Validation • Data

Context

In order to tackle climate change, research on urban building energy modelling aims to create decision support tools to help cities reduce their energy consumption. The main idea is to simulate energy consumptions of each building of a district based on physical models. Thanks to these physical-based models, scenarios of energy management can then be compared.

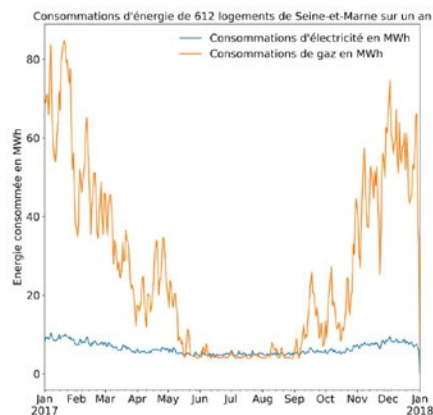
Missions and goals

The aim of this work was to develop a methodology of validation for urban building energy models using free public data. The proposed method was to be applied to the tools developed jointly by Efficacity and CSTB: Qiriel and Dimosim.

Abstract

The purpose of this project was to develop a methodology of validation designed for urban building energy models (UBEM). This field of research aims at modelling buildings' energy consumption in an urban area. These tools are built upon physical models that take into account the constructive properties of buildings. The lack of energy data in urban area makes validation of such models much harder. A state of the art regarding UBEM and UBEM's validation was completed during this final year project. Then, two types of validation were investigated. On the first hand, a

comparative validation on an international case study, the DESTEST, was applied to Dimosim. On the second hand, a full methodology for empirical validation of UBEM was developed and applied on the case of a French department, the Seine-et-Marne. In this second part, a lot of data required for simulation was missing and had to be inferred by a specific tool, Qiriel.



Exemple de résultats obtenus avec un outil de simulation énergétique urbaine : consommations d'énergie de 600 logements sur un an © Lucie Lefort, 2020.

Éléments de bibliographie

FRAYSSINET, Loïc, MERLIER, Lucie, KUZNIK, Frédéric, HUBERT, Jean-Luc, MILLIEZ, Maya et ROUX, Jean-Jacques, 2018. Modeling the heating and cooling energy demand of urban buildings at city scale. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en ligne], 2018, vol. 81, pp. 2318-2327. DOI 10.1016/j.rser.2017.06.040 [consulté le 27 avril 2020].

SOKOL, Julia, CERESO DAVILA, Carlos et REINHART, Christoph F., 2017. Validation of a Bayesian-based method for defining residential archetypes in urban building energy models. *Energy and Buildings* [en ligne], 2017, vol. 134, pp. 11-24. DOI 10.1016/j.enbuild.2016.10.050 [Consulté le 27 avril 2020]

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Samir Nasser SAAD

Élève ingénieur double diplôme
Université Saint-Joseph, Beyrouth, Liban

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Qivy – Vinci Énergies

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Alexandre PEREIRA, responsable d'affaires

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Bruno PEUPORTIER, chercheur, École des Mines ParisTech



Optimisation de l'efficacité énergétique des bâtiments

Bâtiment • Rénovation • Consommation • Énergie • Optimisation

Contexte

Le secteur du bâtiment est responsable de 45% des consommations énergétiques en France. Le parc existant devient obsolète : il est aujourd'hui estimé que plus de 50% du parc des logements en France consomme entre 151 et 330 kWh ep./m².an d'énergie. La qualité des rénovations énergétiques des logements est cruciale pour disposer en 2050 d'un parc de logements entièrement rénové au niveau des bâtiments de basse consommation.

Missions et objectifs

L'intérêt de ce projet de fin d'études est de rechercher les bonnes pratiques de la rénovation énergétique. Une double étude est faite : une première, basée sur un retour d'expérience des plus gros postes de consommation d'énergie des bâtiments existants et une seconde, portant sur l'amélioration énergétique tout en optimisant les coûts.

Résumé

Ce projet de fin d'études expose les enjeux énergétiques liés au bâtiment. Toute opération de réhabilitation doit aborder l'ensemble des caractéristiques du bâtiment : qualité architecturale, qualité d'usage, qualité environnementale et sanitaire, confort, etc. Le volet énergétique de la réhabilitation devrait s'appuyer sur les principes suivants :

- la sobriété énergétique, permettant de supprimer les « gaspillages » à travers une meilleure gestion de l'énergie et des gestes verts ;
- la prise en compte du confort et de la santé des usagers à travers le renouvellement de l'air et la recherche du confort thermique ;
- l'efficacité énergétique permettant de réduire les consommations d'énergies ;
- le recours aux énergies renouvelables.

Des limites sont à signaler : d'une part, les outils de calculs DPE et TH-C-E-ex sont loin d'être fiables et, d'autre part, l'application des solutions dans le cadre d'une réhabilitation reste potentiellement limitée. La contrainte financière existe et il est indispensable de trouver de nouveaux modes de financement, au-delà des politiques, tels que le prêt à taux zéro. Le concept de bâtiment passif est au cœur de plusieurs opérations et semble représenter une voie incontournable de la sobriété énergétique permettant aussi de passer de la transition énergétique à la ville post-carbone. Des études d'optimisation peuvent être poursuivies en utilisant des algorithmes génétiques, permettant de réduire les coûts des travaux et la consommation d'énergie.

Paroi	Avant Travaux		Après Travaux	
	Type	Amélioration	Résistance (m ² .K/W)	
Mur extérieur revêtement plaquette	Briques + lame d'air 45mm + 15 mm polystyrène + carreau plâtre 50mm	Isolant extérieur sous bardage Laine de roche 13 cm Th36 + bardage pierre sur ossature métallique	3,7	
Toiture	Nac acier + 5cm laine de verre déroulée	Isolant sur bac acier et sous étanchéité Polyuréthane 14 cm Th23	6,1	
Toiture terrasse	Béton	Isolant sous étanchéité Polyuréthane 10 cm Th22	4,5	
Menuiserie extérieure	Bois simple vitrage	Modèles en PVC double vitrage 4/16/4 avec volets roulants	0,77	
Ventilation	Naturelle	Mise en place d'un système de VMC basse pression hydroréglable type A	-	
Chauffage	2 chaudières collectives Gaz basse température (265kW et 314 kW)	Chaudières à condensation 2 x 390kW	-	

Amélioration des caractéristiques thermiques d'un EHPA © Samir Saad, 2019.

Optimization of the energy efficiency of buildings

Building • Renovation • Consumption • Energy • Optimization

Context

The building sector is one of the main contributors to energy use. In France, it is responsible for 45% of energy consumption. The existing stock is becoming obsolete: it is now estimated that more than half of the housing stock in metropolitan France consumes between 151 and 330 kWh pe./m² per year of energy. The quality of the energy renovations of the housing units is crucial to the availability in 2050 of a fully renovated housing stock at a low consumption building level.

Missions and goals

The purpose of this project is to explore the good practices in energy renovation. A dual study is carried out: the first aspect of the study is based on the feedback of the largest energy consumption stations of the existing buildings and the second, on the energy optimization of buildings while controlling costs.

Abstract

This final year project outlines energy issues related to the building sector. Any rehabilitation operation must address all the characteristics of a building: architectural quality, quality of use, environmental and health quality, comfort and so on.

The energy component of rehabilitation should be based on the following principles:

- energy sobriety, allowing the elimination of "waste" through better management of energy and green gestures;
- consideration of the comfort and health of users through the renewal of air and the search for thermal comfort;
- energy efficiency to reduce energy consumption;
- use of renewable energy.

However, there are limits to be mentioned: on one hand, the DPE and TH-C-E-ex computational tools are far from reliable, and, on the other hand, the application of the solutions in the context of rehabilitation remains potentially limited. Financial constraints exist, and it is essential to find new ways of financing beyond policies such as zero-interest loans. The concept of passive building is at the heart of several operations and seems to be an unavoidable path to energy sobriety, also allowing the transition from energy to post-carbon city. Optimization studies can be continued using genetic algorithms to reduce work costs and energy consumption.

	Avant travaux	Après travaux
Label		BBC Renovation
Cep(kWhep/m ² .an)	203	103
Gain énergétique (%)		49,3

Gains énergétiques © Samir Saad, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

CHARLOT-VALDIEU, Catherine, OUTREQUIN, Philippe, *et al.*, 2018. *Réhabilitation énergétique des logements*. Antony, France : Éditions le Moniteur. ISBN 978-2-281-14196-2.

BEDDIAR, Karim, LEMALE, Jean et DUMONT, Philippe, 2016. *Bâtiment intelligent et efficacité énergétique : optimisation, nouvelles technologies et BIM*. Malakoff, France : Dunod. ISBN 978-2-10-074720-7.

ABADIE, Marc, BASTIDE, Alain, BENNACER, Rachid, BEAUSOLEIL-MORRISON, Ian et PÉNICAUD, Hubert, 2015. *Énergie des bâtiments et simulation thermique*. Paris, France : Eyrolles. ISBN 978-2-212-14275-4.



Cristina ALEXAN

Élève ingénieure double diplôme
Université technique de construction de Bucarest, Roumanie

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Setec TPI

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
François LEBRUN, directeur de projets

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Romain MESNIL, chercheur, chef de projet du Co-Innovation Lab,
École des Ponts ParisTech



Éco-construction

Réemploi d'éléments structurels



Réemploi structurel • Revit • API • Pythagore • Base de données

Contexte

Les problématiques environnementales nécessitent que l'avenir de la construction passe par le réemploi d'éléments structurels. Ce projet de fin d'études propose de traduire et d'intégrer cet exercice de réemploi structurel dans la méthodologie pratique courante menée par les ingénieurs de Setec TPI.

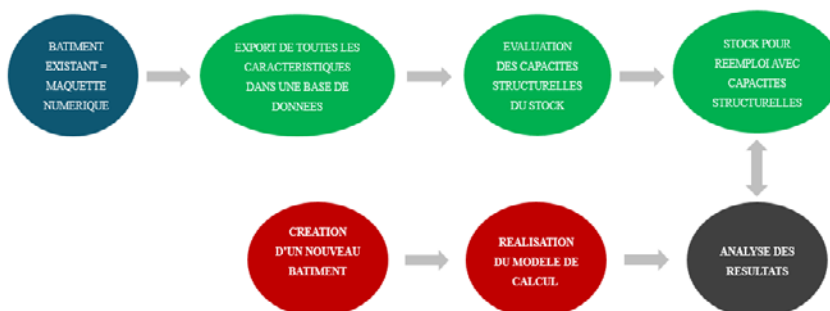
Missions et objectifs

Le sujet du projet de fin d'études consiste à élaborer un outil permettant de trouver, dans une base de données d'éléments structurels, les éléments qui seraient réutilisables dans une nouvelle construction. Il s'agit donc, à partir d'un modèle de calcul, d'envoyer des requêtes à cette base, pour trouver un élément structurel qui pourrait assurer une fonction dans la structure modélisée.

Résumé

Aujourd'hui, le réemploi structurel commence à redevenir une alternative sérieuse pour diminuer l'impact environnemental et présente un potentiel pour faciliter la transition vers une économie circulaire. Le processus du réemploi comporte plusieurs étapes : déconstruire un bâtiment existant, stocker ces éléments structurels récupérés et ensuite les réemployer dans une nouvelle structure, selon les besoins du nouveau projet.

En ce qui concerne les études structurelles, à ce jour on se retrouve dans un contexte complexe, autour du BIM, des maquettes numériques et de nombreux logiciels de calcul aux éléments finis. Ce projet de fin d'études propose de traduire et d'intégrer cet exercice de réemploi structurel dans la méthodologie pratique courante menée par les ingénieurs de Setec TPI. À partir d'une maquette numérique, à l'aide de l'API Revit, on se propose de générer un stock (une base de données) d'éléments structurels et de réemployer une partie de ces éléments dans une nouvelle configuration structurelle, travaillant avec Pythagore comme logiciel de calcul aux éléments finis.



Démarche globale © Cristina Alexan, 2019.

Eco-construction

Reuse of structural elements

Structural reuse • Revit • API • Pythagore • Database

Context

Environmental issues require that the future of construction depends on the reuse of structural elements. This final year project proposes to translate and integrate this structural re-use exercise into the current practical methodology carried out by engineers at Setec TPI.

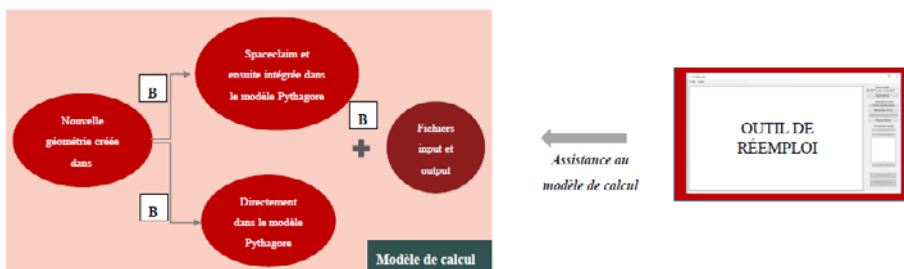
Missions and goals

The subject of the final year project is to develop a tool allowing to find, in a database of structural elements, the elements which would be reusable in a new construction. Therefore, starting from a finite elements model, one may query this database, in order to find a structural element which could ensure a function in the modeled structure.

Abstract

Nowadays, structural reusing is beginning to become once again an actual tendency and a potential alternative to ease the transition towards a circular economy. The process of reusing supposes several stages: deconstructing an existing building, stocking the retrieved structural elements and later reusing them in a new structure, according to the new project needs.

Regarding structural design, today we find ourselves in a complex context, surrounded by BIM, numerical models and a multitude of finite elements method softwares. This final year project proposes to translate and integrate this exercise of structural reusing in the current practical manner of structural design, adopted by the engineers of Setec TPI. We will propose that from a numerical model by using the Revit API, to generate a stock (a database) of structural elements and to reuse a part of them in a new structural configuration, working with Pythagore as the finite elements method software.



L'outil de réemploi © Cristina Alexan, 2019.

Éléments de bibliographie

GHYOOT, Michael, DEVLIEGER, Lionel, BILLIET, Lionel et WARNIER, André, 2018. *Déconstruction et réemploi : comment faire circuler les éléments de construction*. Lausanne, Suisse : Presses polytechniques et universitaires romandes. ISBN 978-2-88915-239-1.

- Bâtiment
• Buildings
- Géotechnique
• Geotechnics
- Gestion et financement de projets
• Project management and finance
- Matériaux
• Materials
- Méthodes
• Methods
- Modélisation et optimisation
• Modelling and optimization
- Ouvrages d'art et infrastructures
• Engineering structures and infrastructures
- Performance énergétique et environnementale
• Energy and environmental performance
- Réhabilitation
• Rehabilitation

Structures



Quentin BELLANCOURT

Élève ingénieur architecte

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Marc Mimram ingénierie

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Razvan IONICA, directeur associé

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Romain MESNIL, chercheur, École des Ponts ParisTech



L'optimisation structurelle dans le processus de conception

Optimisation • Algorithme génétique • Structure • Pont haubané

Contexte

Un pont haubané en phase esquisse a été le terrain d'exploration pour l'intégration de ce processus d'optimisation dans la conception du projet. L'ensemble des solutions optimales résultant de l'étude fait l'objet d'un choix, qui croise les intentions architecturales et les performances de la structure, tout en intégrant dans l'équation les contraintes constructives et économiques du projet.

Missions et objectifs

Les développements technologiques, les recherches architectoniques et les outils d'optimisation contemporains peuvent contribuer à réunifier l'architecture et l'ingénierie en imbriquant la forme et la statique dans une approche de conception pluridisciplinaire. Les outils ou méthodes d'optimisation numérique pourraient constituer un outil pour ce changement de paradigme.

Résumé

Alors que les préoccupations environnementales actuelles poussent à la frugalité constructive, l'évolution des outils numériques conduit à une complexification formelle des projets d'architecture. En outre, la pratique contemporaine de la construction tend à créer une distinction entre les disciplines. D'une part, l'architecte est occupé avec la forme et l'usage ; d'autre part l'ingénieur essaye de rationaliser la géométrie et la structure pour

que le projet devienne viable. Ce cloisonnement dans le processus de conception tend à exclure la notion d'optimum de l'équation, car la conception a été poussée trop loin sans considérer une multitude d'aspects techniques. Les développements technologiques, les recherches architectoniques, peuvent contribuer à réunifier l'architecture et l'ingénierie en imbriquant la forme et la statique dans une approche de conception pluridisciplinaire. Les méthodes d'optimisation numérique pourraient constituer un outil pour ce changement de paradigme. Un pont haubané en phase esquisse a été le terrain d'exploration pour l'intégration de ce processus d'optimisation à la conception du projet.



Perspective du pont à haubans © Quentin Bellancourt, 2019 (image réalisée pour le compte de l'agence Marc Mimram).

Structural optimization in the design process

Optimization • Genetic algorithm • Structure • Cable-stayed bridge

Context

An early stage cable-stayed bridge was the exploration ground for the integration of this optimization process into the project design. The set of optimal solutions resulting from the study is the subject of a choice, which crosses the architectural intentions, and the performances of the structure, while integrating the constructive and economic constraints of the project.

Missions and goals

Contemporary technological developments, architectural research and optimization tools can help unite architecture and engineering by nesting form and statics in a multidisciplinary design approach. Digital optimization tools or methods could be a tool for this paradigm shift.

Abstract

While current environmental concerns push for frugal construction, the evolution of digital tools leads to a formal complexity of architectural projects. In addition, the contemporary practice of construction tends to create a separation between different fields. On the one hand, architects deal with form and uses, and on the other hand the engineer tries to rationalize geometry and struc-

ture to ensure its feasibility. This compartmentalization in the design process tends to exclude the notion of optimum, because the design has been planned without considering several technical aspects such as structural and constructive. Technological developments, architectural study, and contemporary optimization tools could attempt to unify architecture and engineering together by overlapping form and statics in a multidisciplinary design approach. Numerical optimization methods could be a tool for this paradigm shift. An early stage cable-stayed bridge will be the exploration ground for the integration of this optimization process into the project design.



Perspective du pont à haubans © Quentin Bellancourt, 2019
(image réalisée pour le compte de l'agence Marc Mimram).

Éléments de bibliographie

MESNIL, Romain, 2017. *Structural explorations of fabrication-aware design spaces for non-standard architecture* [en ligne]. Thèse de doctorat : université Paris-Est Marne-la-Vallée, 236 p. Disponible à l'adresse : <https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/tel-01510053> [Consulté le 7 avril 2020].

LEONHARDT, Fritz, 1982. *Brücken/bridges*. Deuche Verlags-Anstalt GmbH, 1982, 307 p.

ENGEL, Heino, 1997. *Les systèmes structurels*. Jdeidet el-Metn, Liban : Dergham, 349 pages.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Charlotte BORRITS

Élève ingénieure architecte

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Setec TPI

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Yoann GALLE, ingénieur principal

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Robert LE ROY, directeur du Mastère Spécialisé® Génie civil européen,
École des Ponts ParisTech



Conception bas carbone et assemblages réversibles



Structure • Réemploi • Béton armé • Assemblages • Raideur

Contexte

Depuis le début des années 1990, les enjeux environnementaux et climatiques sont devenus incontournables. Le secteur du bâtiment étant actuellement responsable de 26% des émissions de carbone et de 73% de la production de déchets à l'échelle nationale, les acteurs de la construction ont à cœur de développer des solutions afin de lutter contre le réchauffement climatique et de préserver l'environnement.

Par rapport au recyclage ou à la valorisation, le réemploi de matériaux de construction représente une occasion encore sous-exploitée. Ce projet de fin d'études développe une analyse des dispositions constructives d'un bâtiment afin de favoriser sa déconstruction et donc le réemploi de ses composants structurels. L'ensemble du projet de fin d'études s'inscrit donc dans un scénario d'anticipation de la fin de vie d'un projet dès sa conception.

Missions et objectifs

Les problématiques environnementales nécessitent de revoir nos méthodes de conception. Setec TPI souhaite renforcer son expertise en matière de conception bas carbone et de réemploi d'éléments structurels.

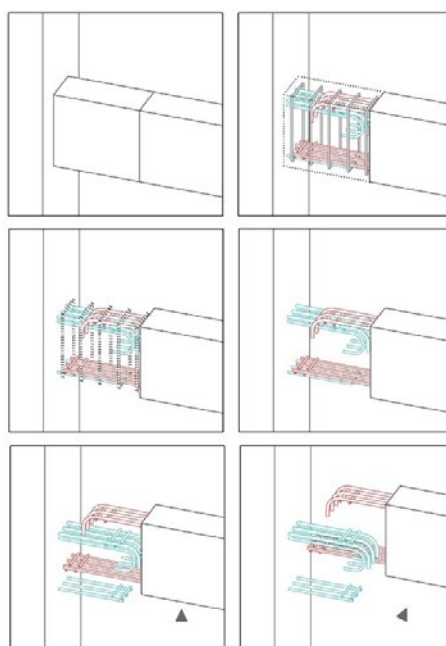
La première partie du projet de fin d'études vise à établir un état de l'art sur les leviers possibles, en conception, pour diminuer le bilan carbone pour les IGH/ structures complexes.

La seconde partie est consacrée au réemploi et plus particulièrement à l'étude de la raideur des assemblages d'une structure conçue pour être déconstruite. Ce principe de conception pour un réemploi futur impose de revoir fondamentalement le concept des liaisons entre éléments réutilisables.

Résumé

Le thème de ce projet de fin d'études est la préservation de l'environnement puisqu'il introduit une brève présen-

tation de pistes d'optimisation permettant de réduire l'empreinte carbone d'un bâtiment. Il s'attarde plus particulièrement sur la solution du réemploi, concept qui privilégie la déconstruction d'un projet afin de remettre en œuvre ses composants dans une autre construction sans nécessiter de nouvel apport d'énergie. En particulier, ce mémoire s'inscrit dans un scénario d'anticipation de la fin de vie d'un bâtiment dès sa conception puisqu'il étudie la mise en œuvre d'assemblages poteau-poutre démontables. Dans l'objectif d'assurer le contreventement d'une structure par rigidification de ses connexions (cadre portique), l'analyse précise le calcul des raiders angulaires d'une série de propositions, allant d'une solution en béton par clavetage à un assemblage par pièce métallique.



Assemblage béton réversible © Charlotte Borrirts, 2019.

Low carbon design and reversible connexions

Structures • Reuse • Concrete • Connexions

Context

Since the early 1990s, environmental and climate issues have become a must. The building sector is currently responsible for 26% of carbon emissions and 73% of national waste generation, construction stakeholders are committed to developing solutions to combat global warming and preserve the environment.

Compared to recycling or upgrading, the re-use of construction materials represents an opportunity that is still underutilized. This final year project develops an analysis of the constructive dispositions of a building in order to promote its deconstruction and thus the reuse of its structural components. The complete report is therefore part of a scenario of anticipation of the end of a project's life from its conception.

Missions and goals

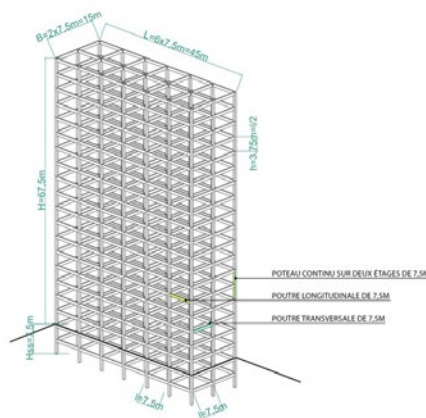
Environmental issues require a review of our design methods. Setec TPI wishes to strengthen its expertise in low carbon design and the reuse of structural elements.

The first part of the final year project aims to establish a state-of-the-art on possible design levers to reduce the carbon footprint for complex IGHS/structures.

The second part will be devoted to re-employment and more particularly to the study of the stiffness of the assemblies of a structure designed to be deconstructed. This design principle for future re-employment requires a fundamental rethinking of the concept of links between reusable elements.

Abstract

The theme of this final year project is the preservation of the environment, as it introduces a brief presentation of optimization paths to reduce a building's carbon footprint. The rest of the study will focus on the solution of reuse, a concept that favours the deconstruction of a project in order to implement its components in another construction without requiring any new energy supply. In particular, the brief is part of a scenario of anticipation of the end of a building's life from its conception since it will study the implementation of removable pole-beam assemblies. In order to ensure the bracing of a structure by stiffening its connections (portico frame), the analysis will specify the calculation of the angular stiffness of a series of proposals, ranging from a keyed concrete solution to a metal part assembly.



Bâtiment poteau-poutre réversible © Charlotte Borrts, 2019.

- Bâtiment
• Buildings
- Géotechnique
• Geotechnics
- Gestion et financement de projets
• Project management and finance
- Matériaux
• Materials
- Méthodes
• Methods
- Modélisation et optimisation
• Modelling and optimization
- Ouvrages d'art et infrastructures
• Engineering structures and infrastructures
- Performance énergétique et environnementale
• Energy and environmental performance
- Réhabilitation
• Rehabilitation
- Structures



Aurore CHAMPAGNE

Élève ingénieure architecte

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à DVVD

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Louis RATAJCZAK, ingénieur-architecte associé

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Robert LE ROY, chercheur, École des Ponts ParisTech



Étude des panneaux CLT utilisés comme dispositifs de contreventement verticaux

Bois • CLT • Contreventement • Assemblage • Raideur

Contexte

Alors que l'écologie est devenue un enjeu indissociable du projet architectural, la construction bois devient une réponse de plus en plus évidente. C'est dans ce contexte que le bureau d'études DVVD souhaite développer de plus en plus de projets mettant en œuvre du bois d'ingénierie.

Missions et objectifs

Pour la réalisation de ce projet de fin d'études, une mission de recherche concernant le matériau bois a tout d'abord été nécessaire. Ce travail a été complété par la production d'outils de calculs. Une étude de cas réalisée sur l'un des projets de l'agence a enfin permis d'affiner et de tester ces outils.

Résumé

Si à l'heure du développement durable, la construction bois prend de l'importance, le développement récent de la filière est loin d'être abouti. En particulier, la réglementation, toujours en développement, ne permet pas encore de répondre aux demandes actuelles.

Le bureau d'études structure DVVD, conscient des problématiques actuelles, souhaite développer ses connaissances, ses compétences et ses outils dans le domaine de l'ingénierie et notamment concernant les panneaux de bois lamellé croisé (CLT). Dans le cadre de ce projet de fin d'études, je me suis particulièrement intéressée à l'utilisation de ces derniers comme dispositif de contreventement vertical permettant de remplacer les voiles béton par exemple. Une étude approfondie de la propagation des efforts dans la structure et des déplacements horizontaux qu'ils engendrent a ainsi été menée. Pour cela, la notion de raideur a été une donnée clef. En effet, la souplesse de ce matériau n'est pas négligeable au regard des déformées provoquées par les efforts latéraux tels que le vent.

L'analyse s'est divisée en trois grandes parties. Dans un premier temps, une étude des panneaux et de leur raideur intrinsèque a été menée. Dans un second temps, l'étude s'est poursuivie par l'analyse des raideurs d'assemblage ainsi que des jeux nécessaires à leur mise en œuvre. Ensuite, différents outils de calculs et/ou d'aide à la décision, chacun adapté à une phase bien particulière du projet, ont pu être développés.

Study of CLT panels used as vertical bracing

Wood • CLT • Bracing • Assembly • Stiffness

Context

While ecology and environmental concerns have become an integral part of the architectural project, wood construction is becoming an increasingly obvious choice. That is why the design office DVVD, working closely with the architecture agency of the same name, wants to develop new projects implementing engineered timber.

Missions and goals

First, a research mission concerning the wood material was carried out. This work was completed by the production of calculation tools. Finally, these tools were tested and improved with a case study of one of the agency's projects.

Abstract

Despite the fact that sustainable development is a top priority, the recent development of the industry is far from complete, especially in terms of regulations. In fact, regulation which is under development is not sufficient yet.

The DVVD structural design office, aware of current issues, wishes to develop its knowledge, skills and tools in the field of engineering and in particular concerning cross-laminated wood panels (CLT). As part of this final year project, I was particularly interested in the use of these as vertical bracing panels which can be used in place of concrete wall. A study of the propagation of structural forces and the horizontal displacements they cause was carried out. For this, the concept of stiffness was a key factor. In fact, the material's flexibility impacts significantly on the deformations caused by wind load.

The analysis was divided into three main parts. As a first step, a study of the panels and their stiffness was done. Then, the study continued with the analysis of the assembly stiffnesses and the clearances necessary for their implementation. Finally, different calculation and decision support tools were developed. Each one is adapted to a very specific phase of the project.

Éléments de bibliographie

HERZOG Thomas, NATTERER Julius, SCHWEITZER Roland, VOLZ Michael, WINTER Wolfgang, 2005. *Construire en bois*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 376 p.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Apolline COURET

Élève ingénieure concours commun

Promotion 2018

Mission en entreprise réalisée à
Schlaich Bergermann Partner

Tutrice professionnelle • Organization Tutor :
Herminie METZGER, ingénieure structure

Tuteur académique • Academic Tutor :
Cyril DOUTHE, chercheur, IFFSTAR



Étude de faisabilité des structures adaptatives pour toitures à câbles

Structure adaptative • Structure prétendue • Nappe de câbles • Nappe de câbles auto-ancrée

Contexte

Récemment, les ingénieurs ont tenté de concevoir les structures les plus légères possibles, avec des objectifs de grande portée, de transparence et d'économie de matériaux. Le développement des structures légères a en particulier éveillé un intérêt pour les structures adaptatives. Actuellement, l'insertion d'un comportement adaptatif dans diverses structures est étudiée dans les plus célèbres bureaux d'études et universités.

Missions et objectifs

Considérant l'expertise de Schlaich Bergermann Partner dans le domaine, l'objectif de ce projet de fin d'études était d'étudier la faisabilité de systèmes adaptatifs pour les structures de toiture à câbles de grande portée. Du fait du peu de recherches entreprises sur le sujet, le projet avait pour ambition d'explorer dans quelle mesure une telle structure serait faisable en termes structurels, technologiques, économiques, énergétiques et juridiques.

Résumé

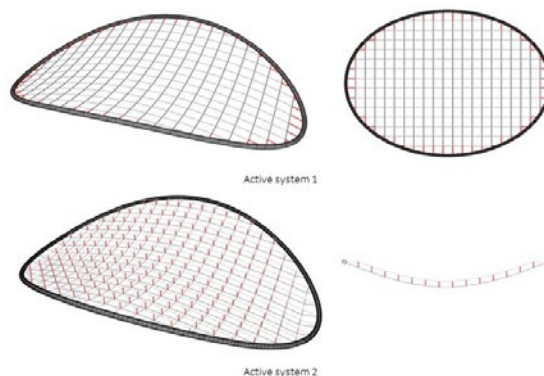
Ce projet s'inscrit dans une initiative globale de développement des structures adaptatives et étudie la faisabilité et la pertinence des systèmes adaptatifs pour les structures de toiture à câbles de grande portée.

Après avoir dressé un état de l'art des structures adaptatives et développé une compréhension fine des processus de *form-finding* à l'œuvre dans la conception d'une structure de toiture à câbles, une stratégie a été envisagée pour l'introduction d'un système adaptatif dans une structure à câbles. Le but du système adaptatif envisagé est de réduire le dimensionnement d'une structure grâce à une redistribution des efforts intérieurs, permise par le comportement adaptatif.

Suivant cette stratégie, une étude de cas a été entreprise sur le modèle de la structure du projet Shanghai Greenhouse, qui fut étudié en phase concours chez Schlaich Bergermann Partner. Deux solutions de systèmes adaptatifs sont envisagées et leurs performances et intérêts quant à l'optimisation structurelle sont étudiés, comparés entre eux et à un système passif classique.

Conformément à l'interdisciplinarité requise par le sujet, une approche systémique de la structure adaptative a également été développée. Y est décrit le fonctionnement du système, ainsi qu'une esquisse de son algorithme de contrôle, dont l'échelle de temps est confrontée aux limites technologiques existantes.

Enfin, des pistes de recherche sont indiquées concernant les points restant à étudier, tels que l'optimisation économique du système permise par la réduction du nombre d'actionneurs, l'évaluation de son rendement énergétique, ou encore les aspects légaux et sécuritaires impliqués.



Systèmes adaptatifs envisagés pour une résille de câbles auto-ancrés
© Apolline Couret, 2019.

Feasibility study of adaptive cable roof structures

Adaptive structure • Pretensioned structure • Cable net • Self-anchored cable net

Context

Over the past decades, engineers have tried to design the most lightweight structures, with the aim of achieving large-span structures, transparency, and material savings. Among many challenges, the development of lightweight structures has raised an interest for adaptivity. Well-known laboratories and engineering offices worldwide are currently studying the insertion of adaptive behaviour into shell, truss or prestressed facade structures.

Missions and goals

Considering Schlaich Bergermann Partner's expertise in the field, the aim of this final year project was to study the feasibility of adaptive cable roof structures. Since only little research has been conducted so far on this topic, this master thesis does not describe a perfectly working solution, but rather explores to what extent such a structure would be feasible in terms of engineering, technology, costs, energy consumption and legal aspects.

Abstract

This final year project is part of a global initiative to develop adaptive structures and examines the feasibility and relevance of adaptive systems for large-span cable roof structures.

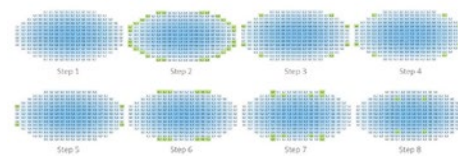
After having established a state of the art of adaptive structures, as well as having in depth understanding of the form-finding processes required for the design of cable net structures, a strategy was envisioned for the introduction

of an adaptive system in a cable structure. The purpose of the proposed adaptive system is to reduce the sizing of a structure through a redistribution of internal forces, which is made possible by the adaptive behaviour.

Following this strategy, a case study was undertaken using the example of the structure of the Shanghai Greenhouse project, which was previously studied in competition phase by Schlaich Bergermann Partner. Two adaptive system solutions are considered, and their performances and interests regarding structural optimisation are discussed, compared to each other as well as to a conventional passive system.

In accordance with the interdisciplinarity required by the topic, a systemic approach to an adaptive structure was also developed. It describes how the system works and gives an outline of its control algorithm, the timescale of which is later confronted with existing technological limitations.

Finally, research paths are indicated concerning the points which remain to be studied, such as the economic optimisation of the system through the reduction of the number of actuators, the evaluation of its energy efficiency, and the legal and safety aspects involved.



Recherche par essai-erreur de l'allongement optimal des vérins © Apolline Couret, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

HEIDINGSFELD, Michael, 2018. Modellierung, Systemanalyse und Regelung adaptiver Tragwerke am Beispiel von Seilfassaden. *Shaker Verlag*.

SENATORE, Gennaro, DUFFOUR, Philippe et WINSLOW, Pete, 2018. Energy and Cost Assessment of Adaptive Structures: Case Studies. *Journal of Structural Engineering* [en ligne], 2018, vol. 144, n° 8, article n°04018107. DOI 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002075 [Consulté le 15 avril 2020].

NEUHÄUSER, Stefan, 2014. *Untersuchungen zur Homogenisierung von Spannungsfeldern bei adaptiven Schalenträgwerken mittels Auflagerverschiebung* [en ligne]. DOI 10.18419/opus-524 [consulté le 15 avril 2020].



Giulia DI STEFANO

Élève ingénieure double diplôme
Faculté d'ingénierie de l'université de Rome II « Tor Vergata », Italie

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Eiffage Métal

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Taoufik AL KALAY, chef de secteur, responsable BE calcul

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Laurence DAVAINÉ, responsable de module, École des Ponts ParisTech



Planchers mixtes acier-béton dans les bâtiments

Recherche de la meilleure modélisation

Plancher mixte • Modélisation optimisée • Effet diaphragme •
Connexion • Stabilité au feu

Contexte

La construction mixte est aujourd'hui fortement compétitive en Europe, surtout dans le domaine des bâtiments. Toutefois, il s'agit d'une problématique caractérisée par une certaine complexité, du point de vue technique et en termes de modélisation. Les logiciels de travail au sein du bureau d'études sont dépourvus de module mixte ou, s'ils en disposent, la difficulté de comprendre leur démarche rend l'exploitation des résultats obtenus très difficile.

Missions et objectifs

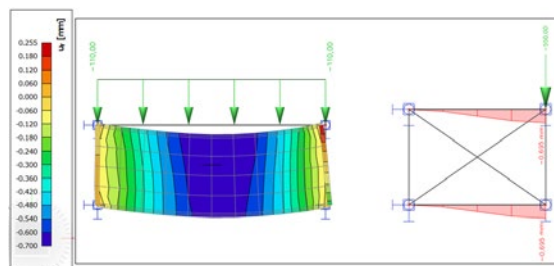
L'objectif de ce projet de fin d'études relève de la modélisation « optimisée » des planchers mixtes dans les bâtiments, en reproduisant les effets réels avec un minimum d'élément à modéliser à l'aide du logiciel de structures :

- effet diaphragme (proposition d'un modèle simplifié à treillis pour optimiser le temps de calcul) ;
- modélisation et calibration de la connexion ;
- résistance au feu (méthode par éléments isolés et méthode FRACOF) ;
- comportement vibratoire.

Résumé

La capacité portante d'une construction mixte est assurée par la collaboration structurale entre l'acier et le béton, afin d'utiliser les caractéristiques favorables respectives. Bien qu'il s'agisse d'une technique de plus en plus utilisée en Europe, en raison de la complexité et de la multiplicité des paramètres en jeu, la recherche de la modélisation « optimisée » des planchers mixtes dans les bâtiments

constitue un des principaux objectifs au sein des bureaux d'études. Ce projet de fin d'études, développé au sein d'Eiffage Métal, aborde plusieurs aspects de la modélisation des planchers mixtes. Tout d'abord, la valorisation de l'effet diaphragme est analysée avec la présentation d'un modèle simplifié pour le gain du temps de calcul ; ensuite, la calibration de la connexion permet d'identifier la distribution optimale des connecteurs en termes d'absorption de l'effort de cisaillement ; en outre, deux méthodes de calcul de la stabilité au feu sont proposées afin d'étudier la réponse de la structure en cas d'incendie ; enfin les principes de base du comportement vibratoire sont présentés.



Validation du modèle simplifié à treillis, logiciel SCIA Engineer © Giulia Di Stefano, 2019.

Modelling optimization of composite slabs in buildings

Composite slab • Optimized modelling • Diaphragm effect •
Connection • Fire resistance

Context

Composite construction is highly competitive today in Europe, especially in the building sector. However, this is a problem characterized by a certain complexity, from the technical point of view and in terms of modeling. The software used in structural engineering office does not have a mixed module or, if they have one, the difficulty of understanding their approach makes the exploitation of the results obtained very difficult.

Missions and goals

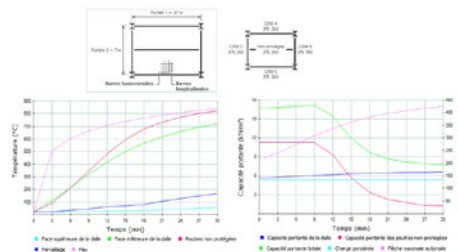
The objective of this final year project is the search for an "optimized" modelling of composite slabs in buildings; several aspects are developed:

- valorization of the diaphragm effect (presentation of a simplified model in order to reduce computational time);
- calibration of the connection;
- calculation methods of fire design, using SCIA Engineer and the FRACOF method;
- analysis of the basic principles of vibratory behavior.

Abstract

The bearing capacity of a composite structure is ensured by the mechanical collaboration between steel and concrete, in order to use the favorable

respective characteristics. Although this technique has been increasingly developed in Europe, due to the complexity and the multiplicity of parameters involved, the search for an "optimized" modelling of composite slabs in buildings is one of the main objectives within the structural engineering consultancy firms. This study, developed at Eiffage Métal's office, concerns several aspects of composite slabs in buildings. First of all, the valorization of the diaphragm effect is analyzed through the presentation of a simplified model in order to reduce computational time, then the calibration of the connection allows us to identify the optimal distribution of the shear connectors. Two calculation methods of fire design are also proposed in order to study high-temperature structural behavior and finally, the basic principles of vibratory behavior are presented.



Méthode FRACOF : modélisation de la stabilité au feu des planchers mixtes, logiciel MACS+ © Giulia Di Stefano, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

ARIBERT, Jean-Marie, VU, Hoàng-Tùng, HJIAJ, Mohammed, GUEZOU, Samy, 2012. *Constructions mixtes acier-béton : conception et calcul des poutres mixtes des planchers de bâtiments courants*. Marne-la-Vallée : CSTB éditions, 160 p.

LESKELA, Matti V., 2017. *Behaviour and Design of Steel-concrete Composite Structures*. Finlande : Peikko Group Corporation, 451 p.

MARTIN, Pierre-Olivier, BIHINA, Gisèle, LUKIC, Mladen, BITAR, Daniel, 2017. Dossier « Planchers mixtes ». *Construction métallique*, 2017, n°4.



chloé GIRARDON

Élève ingénieure concours commun
Parcours Structure & Architecture

Promotion 2019

Projet d'ingénieur en laboratoire réalisée au
Laboratoire Navier

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Cyril DOUTHE, enseignant chercheur

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Mathieu ARQUIER, enseignant, École des Ponts ParisTech



Analyse de sensibilité d'une barrière souple de protection rocheuse

Sensibilité • Variabilité • Dynamique • Précontrainte • Excentrement

Contexte

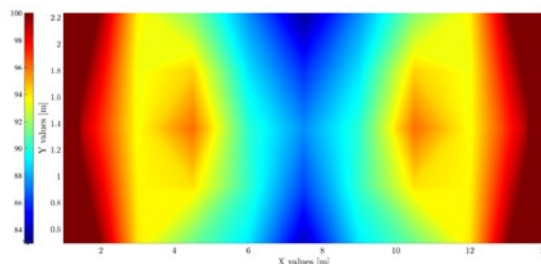
Les instabilités rocheuses sont fréquentes en montagne, amplifiées par les conséquences du réchauffement climatique. Ces risques dus aux chutes de blocs et pierres sont d'autant plus importants qu'il est difficile de les prédire, ainsi que d'anticiper la trajectoire ou l'énergie des blocs, éléments pourtant nécessaires au dimensionnement des filets protecteurs.

Missions et objectifs

La compréhension de la mécanique est difficile : le comportement non-linéaire et dynamique de ces ouvrages, dans un contexte de grands déplacements et de mécanismes irréversibles pour dissiper l'énergie, rendent l'étude de ces structures d'autant plus complexe. La sensibilité de ces filets selon différents paramètres liés au bloc ou filet sera étudiée. Une analyse des expériences du projet C2ROP (différents lancers de blocs de béton à 40 m de haut sur des filets avec des conditions limites variables) sera réalisée en parallèle.

Résumé

Un modèle numérique paramétrique est fait pour étudier la sensibilité de ces filets. Ce modèle doit aider à comprendre les variations observées lors de l'analyse des résultats expérimentaux. Une première étude est faite en faisant des études d'impacts sur la totalité de la surface du filet, pour comprendre comment est dissipée l'énergie selon la position d'impact. Une seconde étude concerne la variabilité des freins : la précontrainte, difficile à mesurer et appliquer, peut varier, ainsi que le seuil d'activation des freins. La dissipation d'énergie est étudiée en faisant varier ces paramètres, ce qui permet d'expliquer les variabilités observées expérimentalement et d'ouvrir la voie à l'élaboration de critères de sécurité dans le dimensionnement de ces filets.



Cartographie de la dissipation maximale d'énergie en fonction de la position d'impact sur le filet © Chloé Girardon, 2019.

Sensitivity analysis of a flexible rock protection barrier

Sensitivity • Variability • Dynamics • Pre-stress • Off-centered

Context

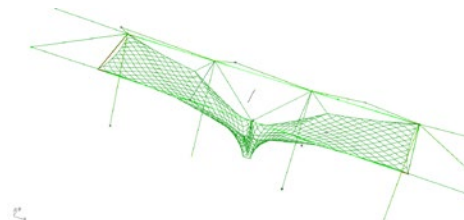
Rock instabilities are frequent in mountainous regions, intensified by the consequences of global warming. These risks due to falling boulders and stones are all the more serious as it is difficult to predict them, as well as to anticipate the trajectory or energy of the boulders, elements which are nevertheless necessary for the design of protective nets.

Missions and goals

Understanding mechanics is difficult: the non-linear and dynamic behaviour of these structures, in a context of large displacements and irreversible mechanisms for dissipating energy, makes the study of these structures all the more complex. The sensitivity of these nets according to different parameters related to the block or net will be studied. An analysis of the C2ROP project experiments (different concrete block throws at 40 m high on nets with variable boundary conditions) will be carried out in parallel.

Abstract

A parametric numerical model is made to study the sensitivity of these nets. This model is designed to help understand the variations observed during the analysis of the experimental results. A first study is done by conducting impact studies on the entire surface of the net, to understand how energy is dissipated depending on the impact position. A second study concerns the variability of the brakes: pre-stressing, which is difficult to measure and apply, can vary, as can the brake activation threshold. Energy dissipation is studied by changing these parameters, which makes it possible to explain the experimentally observed variability and paves the way for the development of safety criteria in the design of these nets.



Modélisation du filet en cours d'impact © Chloé Girardon, 2019.

Éléments de bibliographie

BOULAUD, R., DOUTHE, C. et SAB, K., 2020. Modelling of curtain effect in rockfall barrier with the dynamic relaxation. *International Journal of Solids and Structures* [en ligne], 9 janvier 2020. DOI 10.1016/j.ijsolstr.2020.01.008. [Consulté le 23 mars 2020].

COULIBALY, Jibril, 2017. *Modélisation numérique discrète du comportement mécanique sous impact des structures d'écrans de filets pare-pierres* [en ligne]. Thèse de doctorat. France : université Grenoble Alpes. Disponible à l'adresse : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01734991> [Consulté le 23 mars 2020].

NICOT, F., CAMBOU, B. et MAZZOLENI, G., 2001. Design of Rockfall Restraining Nets from a Discrete Element Modelling. *Rock Mechanics and Rock Engineering* [en ligne], 1 mai 2001, vol. 34, n° 2, p. 99-118. DOI 10.1007/s006030170017 [Consulté le 23 mars 2020].

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Vinh Quynh HỒ

Élève ingénieur double diplôme
École supérieure de génie civil de Hanoï, Vietnam

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
DORIS Engineering

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Pascal DESLANDES, ingénieur en calcul structure

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Alain PECKER, enseignant, École des Ponts ParisTech



Étude d'un choc accidentel sur une structure *offshore* en béton

Comportement non linéaire • Impact du navire • Méthode des éléments finis •
Plasticité d'endommagement du béton

Contexte

Le projet de l'étude du comportement de la structure *offshore* en béton sous impact d'un navire se trouve dans le projet d'Arctic LNG 2 se situant à la péninsule de Gydan en Russie. Ce projet comprend la construction de trois usines de gaz naturel liquéfié (LNG) d'une capacité d'environ 6,6 millions de tonnes par an, qui seront installées sur des structures en béton gravitaire (GBS), ainsi que des installations de stockage de LNG totalisant 687 000 m³.

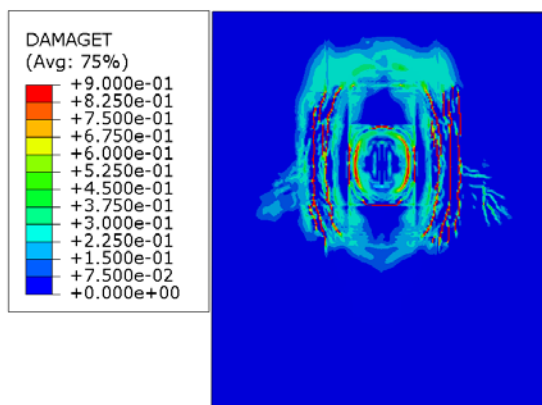
Missions et objectifs

- Étude bibliographique sur la théorie et la réglementation internationale des structures *offshore* ;
- étude bibliographique sur les méthodes de simulation numérique permettant de modéliser des impacts de navires sur une structure en béton ;
- étude des possibilités de modélisation sur ABAQUS (modélisation par éléments volumiques, modélisation des armatures et des câbles de précontrainte, prise en compte du comportement non linéaire des matériaux, etc.) ;
- développement d'un modèle « éléments finis » sur ABAQUS ;
- analyses paramétriques.

Résumé

Dans les industries *offshore*, les navires sont utilisés pour les opérations en mer, par exemple le transport de marchandises. En raison de conditions météorologiques difficiles, d'une panne de moteur, d'une erreur manuelle ou d'une combinaison de ces facteurs, ils peuvent parfois heurter la structure *offshore*. Ces scénarios d'impact

doivent être pris en compte dans la conception des structures *offshore*. De nos jours, la méthode des éléments finis est devenue un outil puissant pour la résolution numérique des structures en béton, ce qui tient à son efficacité lorsque des modèles appropriés sont adoptés. Cette méthode a sa propre flexibilité pour résoudre différents problèmes par rapport aux autres méthodes. L'adoption de cette méthode dans un programme informatique procure un gain de temps et une précision raisonnable aux concepteurs et aux chercheurs confrontés à un large éventail de problèmes sous différents aspects. L'étude consiste en la construction d'un modèle de simulation d'un impact entre un navire et une structure en béton. Le but de cette étude est d'évaluer le comportement non linéaire de la structure en béton et l'endommagement structural sous l'impact du navire par la méthode des éléments finis à l'aide du logiciel ABAQUS 6.14.



Fissuration dans le mur en cours de l'impact © Vinh Quynh HO, 2019.

Study of an accidental impact on an offshore concrete structure

Nonlinear behavior • Ship impact • Finite element method •
Concrete Damage plasticity

Context

The project for the study of the behavior of the offshore concrete structure under ship impact is found in the Arctic LNG 2 project located on the Gydan Peninsula in Russia. This project involves the construction of three liquefied natural gas (LNG) plants with a capacity of approximately 6.6 million tons per year, which will be installed on gravity concrete structures (GBS), as well as LNG storage facilities, totaling 687,000 m³.

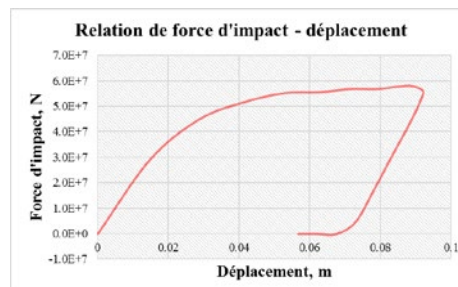
Missions and goals

- Bibliographic study on the theory and the international regulation of offshore structures;
- bibliographic study on numerical simulation methods allowing us to model ship impacts on a concrete structure;
- study of modeling possibilities on ABAQUS (modeling by volumic elements, modeling of reinforcements and prestressing cables, taking into account the non-linear behavior of materials, etc.);
- development of a finite element model on ABAQUS;
- parametric analyses.

Abstract

In the offshore industries, ships are used for offshore operations and during merchandise transportation. Due to harsh weather conditions or engine failure or manual error or combination of all, it may sometimes hit the offshore structure. These impact scenarios shall be accounted for in the design of offshore structures. Nowadays, the

finite element method has become a powerful tool for the numerical solutions of concrete structures due to its efficiency when appropriate models are adopted. It has its own flexibility to tackle different problems as compared with other methods. Adopting this method in a computer program provides time saving and reasonable accuracy for designers and researchers dealing with a wide range of problems under different aspects. The research consists of building a simulation model of an impact between a ship and a concrete structure. The aim of the present study is to assess the nonlinear behavior of the concrete structure and the structural damage under ship impact, using the finite element method with the help of ABAQUS software 6.14.



Relation de la force d'impact - déplacement du mur au cours de l'impact © Vinh Quynh HO, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Augustin JOUY

Élève ingénieur concours commun

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Eckersley O'Callaghan

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Ian LANGHAM, Glass Team Director

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Romain MESNIL, chercheur, École des Ponts ParisTech



École des Ponts
ParisTech



Développement des technologies du verre fin

Exemple d'un pavillon

Verre fin • Pavillon • Adhésif durcissant aux UV •
Cintrage au feuilletage • Relaxation

Contexte

Dans le cadre d'une démarche novatrice visant à promouvoir l'utilisation du verre mince en architecture, Eckersley O'Callaghan a développé un pavillon en partenariat avec AGC. Le principe est de montrer la qualité optique et la capacité de résistance structurelle du verre fin en minimisant les connexions et en augmentant la transparence.

Missions et objectifs

Le projet a suivi plusieurs phases :

- concevoir le pavillon lui-même, sa géométrie et son fonctionnement structurel ;
- contacter des fournisseurs de verre fin et négocier des arrangements pour un partenariat de recherche et de test des matériaux ;
- diriger les différents tests et mener les études théoriques servant de base ;
- mettre en oeuvre un prototype de fixation et adhésion sur un échantillon.

Résumé

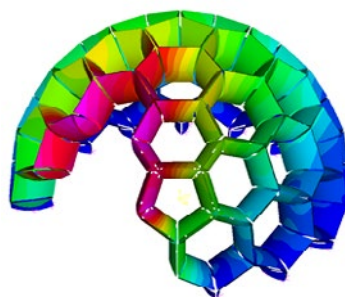
Le pavillon est composé de 300 panneaux feuilletés et cintrés de 0,5 mm d'épaisseur. Ils sont assemblés par moments. La stabilité est assurée par la rigidité géométrique des panneaux. Les éléments de connexion sont imprimés en 3D et s'emboîtent les uns dans les autres.

La conception comprend le procédé de fabrication, les assemblages et une étude du phénomène de cintrage au feuilletage. Le processus nécessite beaucoup de coordination et de nombreux paramètres sont interdépendants. L'approche est décomposée et analysée étape par étape. La conception des connexions a été itérative et a beaucoup évolué tout au long de l'étude. À terme, elles seront composées de 3 pièces dentelées qui s'emboîtent

les uns dans les autres et s'adaptent aux tolérances. Le comportement des panneaux cintrés au laminage n'est pas bien documenté. Une relaxation due à la viscoélasticité de l'intercalaire réduit la rigidité et une perte de cintrage se produit. Il est très important de connaître exactement la forme du panneau afin d'estimer les tolérances qu'il faudra accommoder et la géométrie finale. Une exploration des phénomènes et une calibration du modèle ont été réalisées. Les valeurs expérimentales issues de la fabrication des panneaux seront utilisées pour affiner les connaissances du phénomène.

Enfin, une analyse globale du pavillon a été conduite afin de comprendre l'influence de la rigidité de l'assemblage et du fluage (dû à la relaxation) sur le pavillon. La perte de rigidité de l'intercalaire influence particulièrement la flèche globale du pavillon.

Un essai maquette est en cours d'assemblage dans les laboratoires d'AGC. Certains essais doivent être effectués afin d'adapter la conception. En particulier, la connexion peut nécessiter quelques travaux supplémentaires, notamment pour la gestion des tolérances.



Affaissement vertical de la structure du pavillon après 1 mois © Augustin Joux, 2019.

Development of thin glass technologies

Example of a pavilion

Thin glass • Pavilion • Adhesive bonding • Lamination bending • Relaxation

Context

As part of an innovative approach to promote the use of thin glass in architecture, Eckerseely O'Callaghan developed a pavilion in partnership with AGC. The principle is to show the optical quality and load-bearing capacity of thin glass by minimising the connections and increasing transparency.

Missions and goals

The project followed several steps:

- designing the pavilion itself, its geometry and structural behaviour;
- contacting suppliers of thin glass and discussing arrangements for research and materials testing-partnerships;
- leading the different tests and conducting the theoretical studies that formed the basis of the research;
- implementing a mock-up of glass fixing and UV curing adhesive on a sample.

Abstract

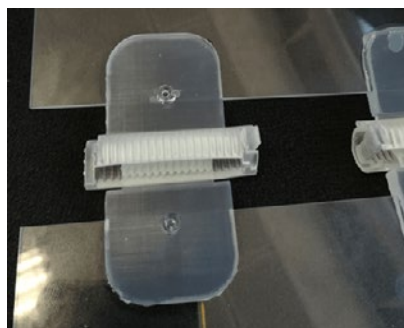
The pavilion is composed of 300 laminated and curved panels of 0.5 mm thickness that are moment connected together. The stability is assured by the geometrical stiffness of the panels. Connection elements are 3D printed pieces that are fitted together.

The design includes a process, the connections and a study of the lamination bending phenomenon. The process needs a lot of coordination and many parameters are interdependent. The approach is described step by step. The design of the connection is iterative and evolved a lot throughout the study. They are composed of 3

serrated pieces that fit together and accommodate the tolerances. The behaviour of lamination bent panels is not well documented. A relaxation due to the viscoelasticity of the interlayer reduces the stiffness and an arc-rise loss occurs. It is very important to know exactly the shape of the panel in order to estimate the tolerances that will have to be accommodated and the final geometry. An exploration of the phenomena and a calibration of FEM were carried out. The experimental values from the fabrication of the panels will be used to gain insight of the understanding of the phenomenon.

Finally, a global analysis of the pavilion was carried out in order to understand the influence of the connection stiffness and the creep (due to relaxation) on the pavilion. The loss of stiffness of the interlayer particularly influences the global deflection of the pavilion.

A mock-up is currently being assembled in AGC's facilities. Some testing is to be carried out in order to adapt the design. In particular, the connection may need some further work.



Prototype de connexion adhésif sur verre fin AGC Falcon Glass © Augustin Jouy, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

GALUPPI, Laura et ROYER-CARFAGNI, Gianni, 2015. Localized contacts, stress concentrations and transient states in bent-lamination with viscoelastic adhesion: an analytical study. *International Journal of Mechanical Sciences* en ligne, 2015, vol. 103, pp. 275-287. DOI 10.1016/j.jmeccsci.2015.08.016 (consulté le 8 avril 2020).

LAMBERT, Harriet et O'CALLAGHAN, J., 2013. Ultra-thin High Strength Glass Research and Potential Applications. *Proceedings of the Glass Performance Days*, 2013, vol. 13, p. 15.

ZACCARIA, Marco et GILLON, Xavier, 2019. Scaling Thin Glass Use to the Architectural World. *Świat Szkła, Glass Performance Days (GPD)*, 2019, vol. 24. Tampere, Finland.



Mathieu LEROUGE

Élève ingénieur concours commun

Promotion 2019

Projet d'ingénieur en laboratoire réalisé à
Laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Cyril DOUTHE, enseignant et chercheur

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Olivier BAVEREL, chercheur, laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech



Rationalisation géométrique de structure par maillages XMesh

Structure • Forme libre • Rationalisation • Optimisation

Contexte

Avec la démocratisation des logiciels industriels de conception assistée par ordinateur, l'architecture à forme libre est devenue l'une des tendances architecturales majeures de ces trente dernières années. Dans un projet à forme libre, l'intention principale des designers est l'expressivité formelle. Cependant, toute conception demeure limitée par des considérations physiques, comme la performance structurelle, la fabrication, la construction, le coût, etc. Dès lors, concevoir un projet à forme libre en tenant compte de ces contraintes s'avère être un véritable défi. Des stratégies dites de rationalisation géométrique sont donc nécessaires afin de concevoir efficacement de tels projets.

Missions et objectifs

L'objectif de mon projet de fin d'études était d'étudier une stratégie de rationalisation basée sur des travaux de recherche récents du laboratoire Navier. Les géométries obtenues par cette stratégie sont appelées des XMesh. Mes missions étaient d'implémenter des outils paramétriques de génération de XMesh et de développer des modèles mécaniques pour étudier les performances des structures basées sur ces géométries. Enfin, la finalité de mes travaux était de contribuer au développement et à la réalisation de deux projets basés sur des géométries XMesh.

Résumé

Une famille de géométries adaptées à des projets à forme libre doit répondre à un compromis. D'une part, elle doit être assez riche afin de permettre au designer d'exprimer son intention formelle. D'autre part, elle doit présenter une certaine régularité pour garantir la faisabilité du projet à un coût raisonnable. Lorsque le second point est délaissé au profit du premier, ce sont souvent les connexions entre éléments structurels qui, atypiques, engendrent d'importants coûts. La famille des XMesh constitue une bonne solution pour répondre à ce compromis. Les XMesh sont des maillages hexagonaux générant une vaste gamme de formes et dont les noeuds sont de deux types génériques facilitant la fabrication et la construction des connexions. Deux réalisations basées sur des géométries XMesh ont été modélisées et construites : un pavillon en aluminium pour le concours 2019 de l'IASS et un pavillon en bois pour un cours d'introduction de l'École des Ponts ParisTech. Ces deux projets ont prouvé le potentiel des XMesh.



XMesh pavilion in aluminium presented at the IASS 2019 contest ©
équipe XMesh IASS, 2019.

Geometric rationalization with XMeshes

Structure • Free-form • Rationalization • Optimization

Context

With the popularization of computer-aided industrial design software, free-form designs have been a major trend in architecture in the past thirty years. When designers are working on such projects, one of their main motivations is formal expressiveness. However, designs are also constrained by physical considerations, like structural performances, fabrication and construction techniques as well as costs. Designing free-form projects under such constraints turns out to be a difficult challenge. Therefore, so-called strategies of geometric rationalization are needed to conceive free-form designs efficiently.

Missions and goals

The goal of my final year project was to study one possible strategy based on recent research works of the Navier laboratory. Geometries obtained via this strategy are called XMesh geometries. My missions were to implement parametric tools for generating XMeshes and to develop models to study mechanical performances of structures based on these geometries. The purpose of my work was to take part in the design and the construction of two projects based on XMeshes.

Abstract

A class of geometries adapted to free-form projects must meet a compromise. On one hand,

the class must be large enough to guarantee the designer's formal expressiveness. On the other hand, it must be regular enough to ensure the project's feasibility with a reasonable cost. When the first aspect is prioritized over the latter, most connections between structural elements become unique, resulting in expensive costs. The class of XMesh stands as a good solution to this compromise. XMeshes are hexagonal meshes providing a wide range of shapes, which have two generic categories of nodes, easing manufacturing and construction of connections. Two projects based on XMesh geometries were designed and built : one pavilion in aluminium for the 2019 contest of the IASS and one pavilion in wood for an introduction class at École des Ponts ParisTech. These two projects proved the potential of XMesh technology.



XMesh pavilion in timber built during a seminary at École des Ponts ParisTech © Stefano Borghi, 2019.

Éléments de bibliographie

WANG, Wenping et LIU, Yang, 2010. A Note on Planar Hexagonal Meshes. In : *Nonlinear Computational Geometry*. New York, NY : Springer, 2010, pp. 221-233. The IMA Volumes in Mathematics and its Applications.

TELLIER, Xavier, ZERHOUNI, Sonia, JAMI, Guillaume, PAVEC, Alexandre Le, LENART, Thibault, LEROUGE, Mathieu, LEDUC, Nicolas, DOUTHE, Cyril, HAUSWIRTH, Laurent et BAVEREL, Olivier, 2019. Hybridizing vertex and face normals to design torsion free structures: application to the X-mesh pavilion. In : *Proceedings of IASS Annual Symposium* (en ligne). IASS 2019 Barcelona Symposium: Form and Force Expo Pavillions. International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), pp. 1-8. Disponible à l'adresse : <https://www.ingentaconnect.com/content/iass/piass/2019/00002019/00000005/art00008> [consulté le 15 avril 2020].

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Marion MACAUDIÈRE

Élève ingénieure concours commun

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Schlaich Bergermann Partner

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Lorenz HASPEL, ingénieur et directeur de la recherche

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Olivier BAVEREL, chercheur, laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech



Ponts en arche de type « network » Suspentes pour longue portée

Ponts • Suspentes • Fatigue • PRFC • Oscillations induites par le vent

Contexte

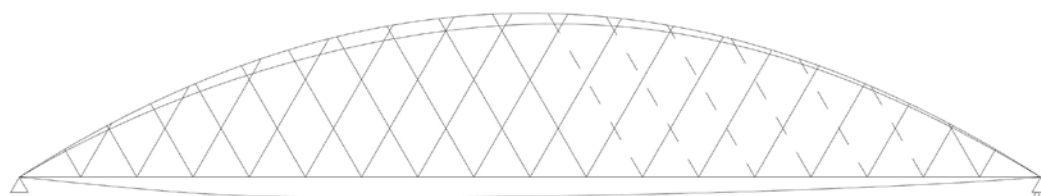
Les ponts en arche de type « network » sont des ponts *bow-string*, c'est à dire que le tablier sert de tirant et reprend les poussées de l'arche, avec des suspentes inclinées et se croisant au moins deux fois. Cette particularité offre un meilleur comportement de l'arche sous charges asymétriques, situation régulière pour les ponts routiers et ferroviaires, et permet de réduire les sections de l'arche et du tablier.

Missions et objectifs

Ce projet de fin d'études avait pour objectif de recenser les ponts en arche de type « network » dans le monde et de déterminer les effets décisifs sur les suspentes dont notamment la fatigue induite par les effets de vent et de trafic. Ce travail avait ensuite pour but d'étudier l'augmentation de la portée de ces ponts et le rôle que les suspentes en carbone pourraient avoir dans le futur.

Résumé

Ce projet de fin d'études présente une vue d'ensemble des ponts en arc de type « network », c'est-à-dire des ponts *bow-string* avec des suspentes inclinées et croisées. Après une analyse rapide du comportement structurel de ce type de ponts, une évaluation des 131 ponts de ce type construits dans le monde et une présentation des principes de construction déjà admis, ce rapport s'intéresse aux différents critères décisifs de conception des suspentes, comme la fatigue du matériau – oscillations induites par le vent et trafic – et à l'ensemble des normes pouvant s'appliquer dans ce contexte. Puis un exemple comparatif de ces effets entre des suspentes rectangulaires en acier et des suspentes en polymère renforcé de fibres de carbone PRFC a été réalisé. Le PRFC a montré une très faible sensibilité aux oscillations induites par le vent grâce à des fréquences propres accrues. Enfin, l'effet de l'augmentation de la portée a été étudié à l'aide d'exemples réalistes, afin de comprendre pourquoi les ponts en arc de type « network » sont peu utilisés pour de grandes portées. Avec des fréquences propres réduites, les longues suspentes en acier sont trop sensibles aux excitations du vent et le PRFC représente alors une solution innovante pour des ponts plus longs que 150 m. Il permet aussi de surmonter les problèmes d'affaissement des suspentes sous leur propre poids, grâce à une faible masse volumique.



Pont en arche de type « network » sous charge asymétrique © Marion Macaudière, 2019.

Design of Network Arch Bridge

Hangers for long spans

Bridges • Hangers • Fatigue • CFRP • Wind-induced oscillation

Context

Network arch bridges are bowstring bridges, i.e. the deck acts as a tie and takes up the thrust of the arch, with inclined and at least twice crossing hangers. This feature provides a better arch behaviour under asymmetrical loads, a regular situation for road and railway bridges, and allows the arch and deck cross-sections to be reduced.

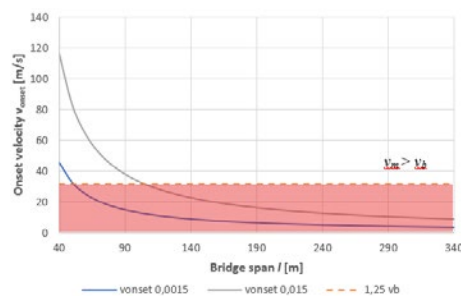
Missions and goals

The objective of this final year project was to identify network arch bridges worldwide and to determine the decisive actions to design the hangers, including fatigue induced by wind and traffic effects. This work was then aimed at studying the span increase of these bridges and the role that carbon hangers could play in the future.

Abstract

This final year project presents an overview of network arch bridges, i.e. tied-arch bridges with inclined and crossed hangers. After a quick analysis of the structural behaviour of this type of bridge, a worldwide evaluation of 131 executed network arch bridges and a presentation of the acknowledged construction principles, this report focuses on the various decisive design criteria for the dimensioning of hanger members, such as material fatigue – wind-induced oscillations and traffic – and on the set of standards that can be applied in this context. Then an exemplary com-

parison of these effects between flat steel hangers and carbon fibre reinforced polymer CFRP hangers was carried out. The CFRP showed a very low sensitivity to wind-induced oscillations due to increased natural frequencies. Finally, the effect of increasing span was investigated with the help of realistic examples to understand why network arch bridges are not widely used for long spans. With reduced natural frequencies, long steel hangers are too sensitive to wind excitations and CFRP represents therefore an innovative solution for bridges longer than 150 m, overcoming as well sag issues with its reduced weight.



Vitesse du vent de déclenchement du galop des suspentes en fonction de la portée du pont : exemple section rectangulaire $b/d = 5$ © Marion Macaudière, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Laurane NÉRON

Élève ingénieure architecte

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Ney & Partners WOW

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Pierre-Antoine CORDY, gérant

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Arthur LEBÉE, chercheur, laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech



Conception des ponts en structure mixte bois-béton

Section mixte • Passerelle • Bois • Méthode Gamma • Déformations non élastiques

Contexte

Matériau organique et sensible aux variations atmosphériques, à première vue, le bois ne semble pas un matériau adéquat pour assurer la longévité et la bonne durabilité des ponts. Pourtant, depuis quelques années, l'émergence d'une nouvelle typologie de pont mixte tend à prouver le contraire, en protégeant les poutres en bois des intempéries par une dalle en béton. Plus qu'une simple protection, la dalle en béton armé est connectée mécaniquement aux poutres en bois pour créer une section mixte, augmentant ainsi la résistance et la rigidité du pont. Ce système a été choisi par le bureau d'étude Ney & Partners pour construire une passerelle cyclo-pédestre de 14 m sur la Dyle à Louvain (Belgique).

Missions et objectifs

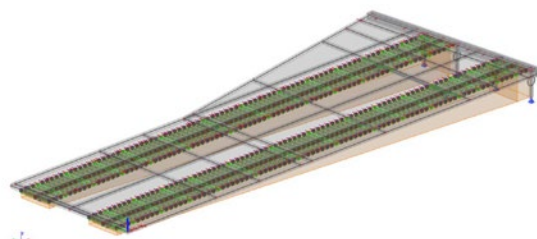
- Établir un guide de conception des ponts en structure mixte bois-béton : méthodes d'analyse et cadre normatif ;
- développer un outil de calcul analytique basé sur la méthode Gamma ;
- définir un modèle de calcul numérique pour prendre en compte la raideur de la connexion bois-béton.

Résumé

Cette étude permet d'étendre les principes des calculs de bases des sections mixtes aux structures à poutres hyperstatiques multi-appuyées. De manière générale, une structure mixte bois-béton combine les avantages des deux matériaux : d'une part, la résistance et la rigi-

dité du béton en compression ; d'autre part, la résistance en traction et la légèreté du bois. Ce schéma idéal n'est plus valable pour les sections sur appuis, sollicitées par un moment de flexion négatif. Dès lors, l'inversion des efforts sur appuis se traduit par une perte de raideur localisée et entraîne une redistribution des efforts dans le système.

Afin de mener une analyse structurale complète, l'étude s'est faite en deux temps. Premièrement, un outil de calcul analytique a été élaboré. Il a permis de mettre en évidence les mécanismes de transmission des efforts du bois au béton, ainsi que les enjeux liés à la raideur des connecteurs et au retrait différentiel des matériaux. Ensuite, cet outil a permis de valider un modèle numérique construit selon un schéma « bielles-tirants ».



Modélisation aux éléments finis sur SCIA © Laurane Néron, 2019.

Design of timber-concrete composite bridges

Composite cross-section • Footbridge • Wood • Gamma method • Inelastic strain

Context

Wood is an organic material and it is sensitive to environmental variations. At first glance, wood does not seem to be an adequate material to ensure the longevity and durability of bridges. However, in recent years, the emergence of a new typology of composite bridges tend to prove the contrary, by protecting the wooden beams from rain with a concrete slab. More than a simple protection, the reinforced concrete slab is mechanically connected to the wooden beams to create a composite cross-section, thus increasing the resistance and stiffness of the bridge. This system was chosen by the office Ney & Partners to build a 14 m cyclo-pedestrian footbridge over the Dyle in Leuven (Belgium).

Missions and goals

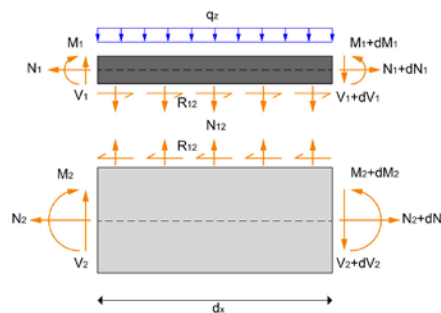
- Define design guidelines of timber concrete composite bridges: analysis methods and codes;
- create a calculation tool based on the gamma-method;
- set a numerical FE-model to take into account the stiffness of the connection between timber and concrete.

Abstract

This study extends the basic design principles of composite sections to multi-supported hyperstatic beam structures. Generally speaking, a tim-

ber-concrete composite structure combines the advantages of both materials: on the one hand, the strength and stiffness of concrete in compression; on the other hand, the tensile strength and lightness of wood. This ideal scheme is no longer valid for sections on supports, which are stressed by a negative bending moment. Therefore, the reversal of bearing forces results in a localized loss of stiffness and leads to a redistribution of forces in the system.

In order to carry out a complete structural analysis, the study was done in two stages. First, an analytical calculation tool was developed. It highlighted the mechanisms of force transmission from wood to concrete, as well as issues related to the stiffness of connectors and differential shrinkage of materials. Then, this tool made it possible to validate a numerical model built according to "strut and tie" scheme.



Efforts internes dans une section mixte bois-béton © Laurane Néron, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

DIAS, Alfredo, SCHÄNZLIN, Jörg et DIETSCH, Philipp, 2018. *Design of timber concrete composite structure : A state-of-the-art report by COST Action FP1402 / WG 4*. Shaker Verlag Aachen, 2018.

FRAGIACOMO, Massimo, GREGORI, Amedeo, XUE, Junqing, DEMARTINO, Cristoforo et TOSO, Matteo, 2018. Timber-concrete composite bridges: Three case studies. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) len lignel*, 2018, vol. 5, n° 6, pp. 429-438. DOI 10.1016/j.jtte.2018.09.001 (consulté le 15 avril 2020).



Gabriel NEVES ALVES FERREIRA

Élève ingénieur double diplôme
 Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brésil
 Master Analyse multi échelles pour les matériaux et les structures (AMMS),
 Sorbonne Université et École des Ponts ParisTech

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
 Arcora

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
 Adrien JOLY, chef de projet adjoint

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
 Jérémy BLEYER, chercheur, laboratoire Navier
 École des Ponts ParisTech



Le verre structurel

Verre • Structures • Mécanique • Multi-couches • Conception

Contexte

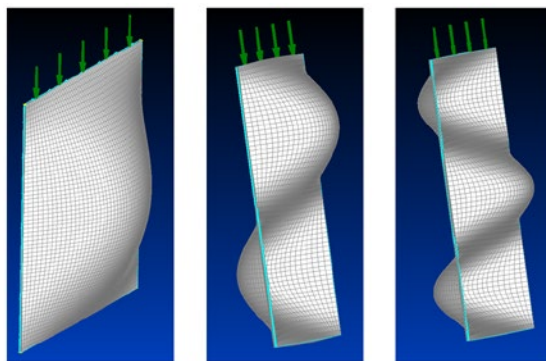
L'utilisation du verre comme matériau structurel s'est répandue dans les dernières années, à la faveur de ses qualités esthétiques et d'une meilleure caractérisation de ses propriétés mécaniques, en parallèle d'un progrès technologique dans la fabrication de produits en verre. Des structures où des éléments en verre supportent des charges (poutres, colonnes, etc.) deviennent de plus en plus courantes, ainsi que des panneaux en façade de grandes dimensions. Cependant, à la différence d'autres matériaux dont l'utilisation structurale est déjà consolidée et prévue dans les Eurocodes (comme le béton, l'acier et le bois), les méthodes de conception et de calcul pour le verre sont limitées et souvent critiquées ; le consensus est difficile.

Missions et objectifs

L'objectif de ce travail est donc de faire un état des lieux du cadre normatif actuel et une analyse de recherches scientifiques en cours sur le sujet, de façon à pouvoir établir des méthodologies de calcul fiables pour des éléments structurels en verre. Avec les études menées, nous cherchons à bien comprendre les phénomènes qui régissent le comportement structurel du verre, de façon à être capables de concevoir et dimensionner les structures en verre de façon sécuritaire et bien fondée.

Résumé

Le travail effectué pour ce projet de fin d'études rappelle tout d'abord les caractéristiques mécaniques de ce matériau, ainsi que son mode de rupture. Cette base permet d'analyser les différentes approches trouvées dans la littérature pour la vérification de la résistance du verre. Ensuite, le comportement est étudié en flexion du verre feuilleté, un produit largement utilisé pour garantir la sécurité des structures compte tenu de la fragilité du verre. Finalement, on examine les phénomènes d'instabilité, qui ont une grande importance du fait de l'élançement des structures en verre. Des modèles sont analysés et une méthodologie est proposée pour le flambement de colonnes et plaques en compression, ainsi que pour le déversement de poutres en flexion.



Flambement de panneaux en verre © Gabriel Neves Alves Ferreira, 2019.

Structural Glass

Glass • Structures • Mechanics • Laminated • Design

Context

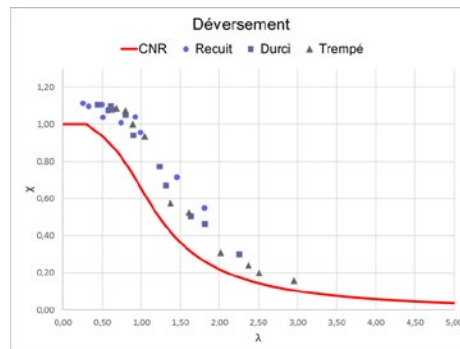
The use of glass as a structural material has surged in recent years, mainly due to its aesthetic features as well as a better understanding of its mechanical behaviour, in conjuncture with technological improvements in the fabrication of glass products which has enabled such architectural advances. Structures where glass elements have a load-bearing role (beams, columns, etc.) are increasingly common, as well as large façade panels. Nonetheless, unlike other materials for which the structural use is already consolidated and regulated by the Eurocodes (such as concrete, steel and wood), design and analysis methods for glass are very limited and often criticized; consensus is difficult.

Missions and goals

The present work aims to evaluate the current normative framework and to analyse ongoing scientific research on the subject in order to establish reliable analysis methodologies for structural glass elements. Based on the studies done, we seek to understand the phenomena that govern the structural behaviour of glass, so that we can design glass structures in a safe and well-founded manner.

Abstract

First, we recall the mechanical characteristics of this material, as well as its fracture mode. This serves as a basis for analysing the different approaches found in the literature for the verification of glass strength. Next, the bending behaviour of laminated glass, a product widely used to guarantee the safety of structures given the brittleness of glass, is discussed. Finally, we examine the phenomena of instability, which are of great importance due to the slenderness of glass structures. Calculation models are analysed, and a methodology is proposed for the buckling of columns and plates, in compression, and of beams, in bending.



Courbe de déversement de poutres en verre © Gabriel Neves Alves Ferreira, 2019.

Éléments de bibliographie

CNR, 2013. *CNR DT 210/2013 : Guide for the Design, Construction and Control of Buildings with Structural Glass Elements* [en ligne]. Rome, Italie : National Research Council. Disponible à l'adresse : <https://www.cnr.it/en/node/3843>.
FRANCO, Annalisa et ROYER-CARFAGNI, Gianni, 2015. Verification formulae for structural glass under combined variable loads. In : *Engineering Structures*. 15 janvier 2015. Vol. 83, p. 233-242. DOI 10.1016/j.engstruct.2014.10.049.
GALUPPI, Laura et ROYER-CARFAGNI, Gianni, 2012. The effective thickness of laminated glass plates. In : *Journal of Mechanics of Materials and Structures*. 26 juillet 2012. Vol. 7, n° 4, p. 375-400. DOI 10.2140/jomms.2012.7.375.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Matéo NICOLAS

Formation complémentaire intégrée pour les polytechniciens civils
Parcours Structure & Architecture

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
AREP

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Jean-Luc MARTIN, chargé de mission Structures et interfaces ferroviaires

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Valérie BONIFACE, enseignante, École des Ponts ParisTech



Optimisation environnementale de structures

Structure • Optimisation • Carbone • Prix

Contexte

La lutte contre le réchauffement climatique s'affirme comme un défi majeur du XXI^e siècle, qui s'inscrit pleinement dans l'activité d'AREP. Agence d'architecture et filiale de la SNCF, elle se situe à la croisée de deux chantiers d'envergure : la mobilité et le bâtiment. Cette ambition implique une utilisation raisonnée des matériaux, notamment dans le domaine de la structure qui en est un des premiers consommateurs.

Missions et objectifs

L'objectif principal de ce projet est d'évaluer et de minimiser l'impact des choix de conception, aussi bien en termes de géométrie que de matériaux. Afin d'intégrer cette démarche à la réalité économique du secteur, l'empreinte carbone est confrontée à un indicateur financier. Il s'agit de fournir les bases à un arbitrage entre ces deux critères clefs souvent contradictoires.

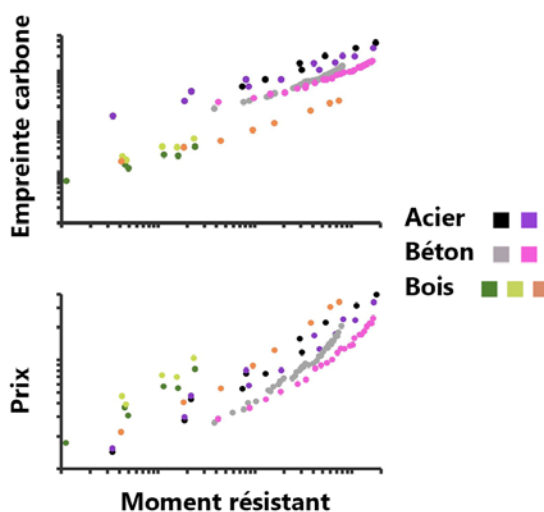
Résumé

Après avoir identifié les enjeux de la réduction de l'empreinte carbone des structures, la réflexion a d'abord porté sur la méthodologie à mettre en œuvre. Plutôt que de développer un outil d'optimisation sur le seul critère environnemental, la confrontation avec les exigences de projets concrets a conduit à privilégier une stratégie d'arbitrage.

Les performances des matériaux ont été étudiées au regard de deux indicateurs : leur empreinte carbone et leur coût financier. Cette ambivalence ne permet pas de privilégier un matériau plutôt qu'un autre et nécessite un compromis. Il s'agissait donc de fournir un outil d'aide à la décision pour effectuer cet arbitrage : à quel effort financier est-on prêt à consentir pour réduire l'empreinte carbone ?

Ceci s'est traduit par l'élaboration d'un algorithme d'optimisation multicritère faisant émerger les configurations de matériaux et de géométries les plus pertinentes. Cette démarche implique l'automatisation du dimensionnement de la structure, afin de comparer des solutions qui, pour une configuration donnée, correspondent déjà à une consommation minimale de matière.

L'outil procède ainsi à l'optimisation des critères environnementaux et financiers, en faisant varier un certain nombre de paramètres, en particulier les matériaux, sous un ensemble de contraintes inhérentes au dimensionnement des structures. Les résultats obtenus permettent alors de limiter l'arbitrage à un ensemble optimal de possibilités.



Analyse de performance des matériaux © Matéo Nicolas, 2019.

Environmental optimization of structures

Structure • Optimization • Carbon • Price

Context

Reducing global warming, a major challenge of the 21st century, requires that all sectors adapt and evolve. AREP, as an architectural agency and subsidiary of the SNCF, stands at the crossroads of two key sectors: mobility and construction. It is addressing this issue through a sustainable use of materials, particularly in the field of structures, which is one of the biggest consumers.

Missions and goals

The main objective of this final year project is to evaluate and minimize the impact of design choices, both in terms of geometry and materials. In order to integrate this approach into the economic requirements of the sector, the carbon footprint is confronted with a financial indicator. The goal is to provide the basis for a trade-off between these two major criteria, that often conflict with one another.

Abstract

After an initial assessment of the challenges of carbon footprint reduction in the field of structures, we focused on the methodology to implement. Rather than developing an optimization tool based solely on environmental criteria, the confrontation with the requirements of real projects led to favor an arbitration strategy.

We analyzed the performances of materials over two indicators: their carbon footprint and

their financial cost. This did not provide one "best material" and called for a compromise. We thus designed a decision-making tool to help with the trade-off analysis: what financial effort is one willing to make to reduce the carbon footprint?

To that end, a multi-criteria optimization algorithm was developed to bring out the most relevant materials and geometry configurations. This approach involves an automation of structural dimensioning in order to compare solutions that already correspond to minimum material consumption for a given configuration.

The tool optimizes the environmental and financial criteria by varying a certain number of parameters, especially materials, under a set of constraints that reflect the dimensioning requirements. It delivers a range of results that enables to limit the arbitration to an optimal set of possibilities.

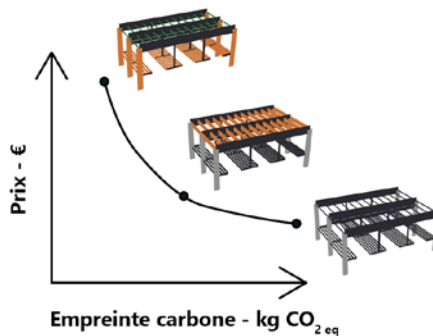


Schéma de principe de l'arbitrage © Matéo Nicolas, 2019.

Éléments de bibliographie

DE WOLF, Catherine Elvire, 2014. *Material quantities in building structures and their environmental impact* [en ligne]. Thèse : Massachusetts Institute of Technology. Disponible à l'adresse : <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/91298> consulté le 15 avril 2020.

GUTKOWSKI, Witold, 1997. *Discrete structural optimization*. New York : Springer.

DAUNAY, Julie, DUGAST, César, BACHELET, Luc et SCHMITT FOU DHIL, Hadjira, 2019. *Neutralité & bâtiment : comment les acteurs du secteur peuvent s'inscrire dans une démarche zéro émission nette* [en ligne]. Étude réalisée par Carbone 4 pour l'ADEME. Disponible à l'adresse : <http://www.carbone4.com/wp-content/uploads/2019/07/Publication-neutralite%CC%81-et-batiment-Carbone-4-ADEME.pdf>

- Bâtiment
• Buildings
- Géotechnique
• Geotechnics
- Gestion et financement de projets
• Project management and finance
- Matériaux
• Materials
- Méthodes
• Methods
- Modélisation et optimisation
• Modelling and optimization
- Ouvrages d'art et infrastructures
• Engineering structures and infrastructures
- Performance énergétique et environnementale
• Energy and environmental performance
- Réhabilitation
• Rehabilitation

Structures



Pablo NISTAL IGLESIAS

Élève ingénieur double diplôme
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos
de l'université de Cantabria, Santander, Espagne

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Ingecid

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Jokin RICO ARENAL, directeur technique

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Jean-Marc JAEGER, enseignant, École des Ponts ParisTech



Analyse de faisabilité du béton fibré pour les caissons portuaires

Béton • Fibres • Port • Caisson

Contexte

Le besoin croissant de protection des côtes causé par les prévisions d'élévation du niveau de la mer et le développement de nouvelles zones et installations portuaires a encouragé l'augmentation de l'utilisation de caissons en béton : une solution classique qui est restée pratiquement inchangée depuis sa création et qui bénéficierait de l'utilisation du béton renforcé de fibres tant sur le plan économique que constructif.

Missions et objectifs

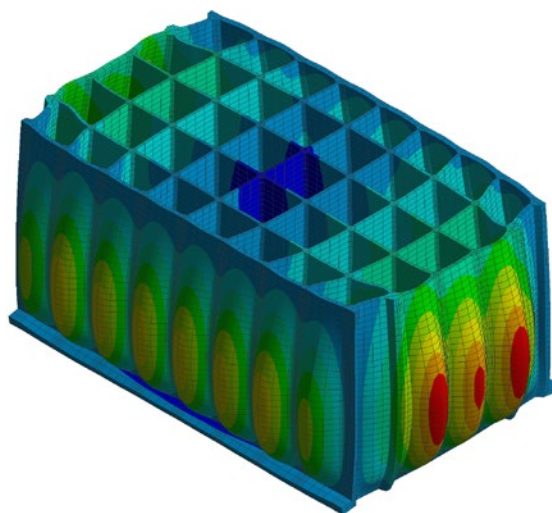
L'objectif de ce projet de fin d'études est d'analyser le comportement du béton renforcé de fibres, d'étudier le processus constructif des caissons portuaires et les modifications qui seraient nécessaires pour l'utilisation de béton fibré, ainsi que d'analyser structurellement les caissons afin de déterminer la possibilité de résister aux contraintes rencontrées en utilisant ce matériau.

Résumé

Trois types de béton fibré avec différentes résistances mécaniques et comportements post-fissuration ont été analysés, aussi que trois géométries de caisson portuaire représentant les typologies les plus communes dans l'état de l'art de ces structures. Le calcul structurel a été réalisé en utilisant des modèles d'éléments finis solides avec le logiciel ANSYS en suivant les recommandations des organismes nationaux (« Puertos del Estado ») et internationaux (Fédération internationale du béton).

L'analyse réalisée montre que l'utilisation de béton fibré sans armature passive n'est pas possible sur la configura-

tion originale. Des modifications sur le matériau, les géométries et les sollicitations sont alors étudiées. La solution la plus viable techniquement est de modifier la géométrie des caissons pour prendre en compte les contraintes trouvées, mais économiquement il s'agit d'une solution peu compétitive. Des solutions plus attractives économiquement ont été trouvées en réduisant les sollicitations sur le caisson, avec des contraintes importantes en termes de processus constructif et de surveillance pendant l'opération.



Modèle d'éléments finis du caisson montrant la déformation dans un état de charge de service.
Finite element model of the caisson showing the deformations during a service load case © Pablo Nistal Iglesias, 2019.

Feasibility analysis of fiber-reinforced concrete for port caissons

Concrete • Fiber • Port • Caisson

Context

The growing need for coastal protection caused by the predicted rise in sea level and the development of new port areas and facilities has encouraged the incremental use of concrete caissons: a classic solution that has remained virtually unchanged since its inception, and which would benefit from the use of fiber-reinforced concrete both economically and constructively.

Missions and goals

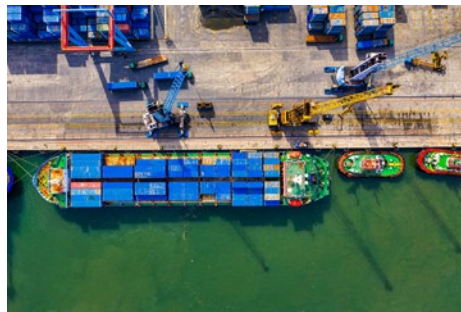
The objective of this work is to analyze the behavior of fiber-reinforced concrete, to study the construction process of port caissons and the modifications that would be necessary for the use of fiber-reinforced concrete, and to structurally analyze the caissons to determine the possibility of resisting the stresses encountered using this material.

Abstract

Three types of fiber-reinforced concrete with different mechanical resistances and post-cracking behavior were analyzed, as well as three port caisson geometries representing the most common typologies in the state of the art of these structures. The structural calculation was carried out using solid finite element models with ANSYS software following the recommendations of national

(Puertos del Estado) and international bodies (International Federation for Structural Concrete).

The analysis carried out shows that the use of fiber-reinforced concrete without passive reinforcement is not possible in the original configuration. Modifications on the material, geometries and stresses are then studied. The most technically viable solution is to modify the geometry of the caissons to accommodate the stresses found, but economically it is not a competitive solution. More economically attractive solutions have been found by reducing the stresses on the caisson, with significant constraints in terms of the construction process and monitoring during operation.



Les caissons portuaires sont utilisés pour les plateformes des ports et pour leur protection.

Port caissons are used as platforms and for port protection © Tom Fisk, 2019 (source : Pexels), disponible sur : <https://www.pexels.com/photo/aerial-photography-of-cargo-ship-2231743/>.

Éléments de bibliographie

DEL ESTADO, Puertos, 2006. Manual Para el Diseño y la Ejecución de Cajones Flotantes de Hormigón Armado Para Obras Portuarias". A lo largo del trabajo se alude a esta publicación simplemente como el Manual, 2006.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON, 2012. Model code 2010: final draft. Fédération internationale du béton.

SECRETARIA GENERAL TÉCNICA DEL MINISTERIO DE FOMENTO, 2008. Instrucción de hormigón estructural EHE-08. Fomento, Madrid, España.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Truong Son PHAM

Élève ingénieur Polytechnique

Promotion 2018

Mission recherche réalisée au
Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), Saclay

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Ioannis POLITOPOULOS, ingénieur de recherche

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Alain PECKER, chercheur, École des Ponts ParisTech



Réponse sismique des réservoirs

Réservoir cylindrique • Interaction fluide-structure • Séisme horizontal • Flambage

Contexte

Le risque sismique est un facteur important à prendre en compte lors d'une nouvelle installation industrielle ou de la réévaluation d'une installation existante. Dans plusieurs domaines de l'industrie (pétrochimique, nucléaire, etc.), les réservoirs sont des équipements d'une grande importance et leur intégrité doit être assurée lors d'un séisme pour éviter la perte de leur contenu. Néanmoins, comme le chargement sismique est très différent du chargement axisymétrique qu'ils ont à supporter dans des conditions de fonctionnement normales, ils peuvent être vulnérables en cas de séisme. En particulier, la faible épaisseur de leur paroi augmente souvent le risque de flambage.

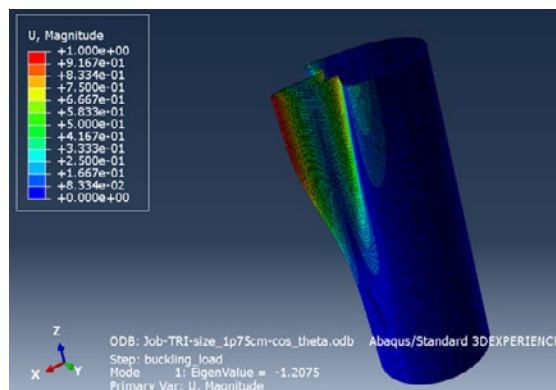
Missions et objectifs

Dans le cadre d'un projet européen, une campagne expérimentale a eu lieu au laboratoire d'études de mécanique sismique (EMSI) du CEA Saclay. Ce projet de fin d'études a comme objectif d'étudier la réponse des réservoirs testés lors de ces essais. Nous essayons d'expliquer les différences entre modélisation numérique et résultats expérimentaux. Les outils numériques utilisés sont MATLAB et des logiciels d'éléments finis : CASTEM / ABAQUS.

Résumé

Les réservoirs cylindriques ont beaucoup d'applications dans l'industrie : les réservoirs de stockage (du pétrole, de l'eau, de grains, etc), le réservoir cryogénique d'Ariane 5, etc. L'étude du flambage des réservoirs cylindriques est un sujet pointu, mais aussi difficile, car les sollicitations sont souvent composées. Il faut prendre en compte différents facteurs comme l'interaction fluide-structure, les conditions aux limites, les défauts géométriques, etc.

Ce projet de fin d'études porte sur la réponse sismique des réservoirs d'eau dans le cadre du projet INDUSE2. Les signaux de sollicitation sont de type séismes horizontaux.



Flambage de réservoir mince © Truong-Son Pham, 2019.

Seismic response of reservoirs

**Cylindrical tank • Fluid-structure interaction •
Horizontal earthquake • Buckling**

Context

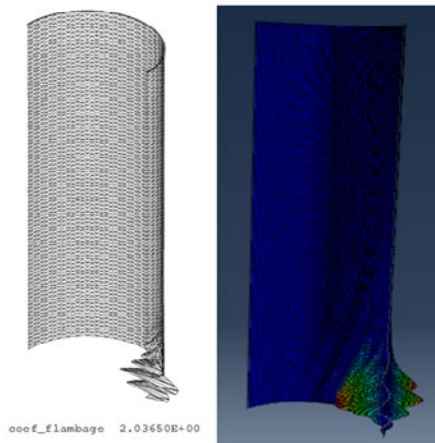
Seismic risk is an important factor to take into account during a new industrial installation or the reassessment of an existing installation. In several industrial fields (petrochemical, nuclear, etc), reservoirs are very important equipment and their integrity must be assured during an earthquake to avoid the loss of their contents. However, as the seismic loading is very different from the axisymmetric loading that they have to support under normal operating conditions, they can be vulnerable in the event of an earthquake. In particular, the small thickness of their wall often increases the risk of buckling.

Missions and goals

As part of a European project, an experimental campaign took place at the Laboratory of Seismic Mechanic Studies (EMSI) in the CEA Saclay Center. The goal of the final year project is to study the response of the tanks tested during these experiments. We are trying to explain the differences between numerical modeling and experimental results. The digital tools used are MATLAB and finite element softwares: CASTEM / ABAQUS.

Abstract

The cylindrical tanks have a lot of applications in industry: storage tanks (oil, water, grain, etc), cryogenic tank for the Ariane 5, etc. The study of buckling of cylindrical tanks is a specialized topic but also difficult because the solicitations are often composed. We must take into account various factors such as the fluid-structure interaction, boundary conditions, geometric defects, etc. This final year project focuses on the seismic response of water reservoirs as part of the INDUSE2 project. Solicitation signals are of the type of horizontal earthquakes.



Flambage en pointe de diamant © Truong-Son Pham, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures



Anna SCHMIDT

Élève ingénieure double diplôme
Université technique de Munich, Allemagne

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Bollinger + Grohmann

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Klaas DE RYCKE, gérant

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Romain MEGE, enseignant, École des Ponts ParisTech



Modélisation et analyse d'un plancher mixte avec un comportement double collaborant

**Modélisation • Plancher mixte • Double collaborant •
Analyse dynamique • Analyse de sensibilité**

Contexte

La méthode de construction mixte acier-béton est toujours en développement par les fabricants. La dalle mixte Cofradal développée par le producteur d'acier Arcelor-Mittal a été approuvée en 2017. Il s'agit d'une dalle mixte avec des bacs en acier en forme de U et du béton armé, où le béton de la zone de traction est remplacé par un isolant thermo-acoustique. Ce système réduit le poids propre de la dalle tout en maintenant la hauteur statique et améliore les performances thermiques et acoustiques. Sur la base de ce système, deux nouveaux systèmes de dalles mixtes sont en cours de développement dans le cadre de la construction du nouveau siège d'ArcelorMittal à Luxembourg.

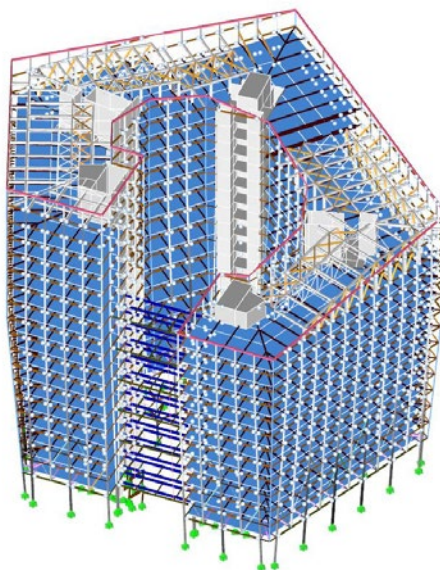
Missions et objectifs

Dans le projet mentionné ci-dessus, les dalles mixtes ne sont pas exclusivement utilisées de manière isostatique à portée unique, mais intégrées dans des systèmes globaux complexes. Il en résulte un double effet collaborant, d'une part dans la dalle mixte et d'autre part entre cette dalle et les poutres principales en acier auxquelles la dalle est connectée. Le but du projet de fin d'études est l'étude du comportement global du plancher mixte, superposé au comportement local de la dalle mixte ainsi que l'analyse du comportement dynamique du système. De plus, des modèles différemment détaillés sont créés et étudiés pour pouvoir établir un pronostic sur la validité d'un modèle largement simplifié.

Résumé

Les résultats du modèle simplifié de la dalle mixte sont très proches des résultats du modèle détaillé. Les deux modèles représentent bien la réalité puisqu'ils avaient été calibrés avec des essais réels. La comparaison des deux modèles simplifié et détaillé du plancher mixte révèle que

les résultats sont proches mais ne concordent pas aussi bien que les résultats des modèles de la dalle mixte. De plus, les résultats sont très sensibles à la rigidité de la dalle utilisée deux fois comme système mixte. La mise en œuvre des dalles mixtes vérifiées dans le système global sans changement de rigidité ne tient pas compte du décalage de l'axe neutre. Cette dernière considération ainsi que l'analyse de sensibilité montrent qu'il faut toujours évaluer tous les aspects d'une modélisation tels que les choix de simplification et les résultats mais aussi les parties d'un modèle qui ont déjà été vérifiées.



Modèle global du projet ArcelorMittal headquarters dans RFEM © Anna Schmidt, 2019.

Modelling and analysis of a mixed floor with double composite behaviour

Modelling • Composite floor • Double composite structure •
Dynamic analysis • Sensitivity analysis

Context

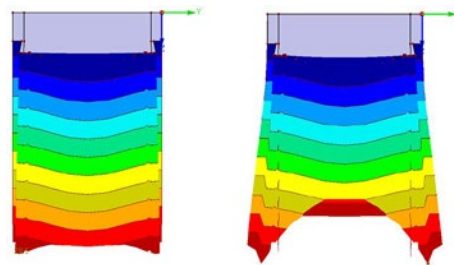
Composite slabs consisting of profiled steel decking with an in-situ reinforced concrete topping are under development by manufacturers. The Cofradal mixed slab developed by the steel producer ArcelorMittal was approved in 2017. It is a mixed slab with U-shaped steel and reinforced concrete troughs, where the concrete in the traction zone is replaced by a thermo-acoustic insulation. This system reduces the dead weight of the slab while maintaining the static height and improves the thermal and acoustic performance. Based on this system, two new mixed slab systems are being developed for the construction of ArcelorMittal's new headquarters in Luxembourg.

Missions and goals

In the above mentioned project, mixed slabs are not exclusively used in a single-span isostatic manner, but are integrated into complex overall systems. This results in a double composite effect, once in the mixed slab and additionally between this slab and the main steel beams to which the slab is connected. The aim of the final year project is the study of the overall behaviour of the composite floor, superimposed on the local behaviour of the composite slab, as well as the analysis of the dynamic behaviour of the system. In addition, differently detailed models are created and studied in order to be able to give a prognosis on the validity of a largely simplified model.

Abstract

The results of the simplified model of the mixed slab are very close to the results of the detailed model. Both models represent well the reality as they were calibrated with real tests. Comparison of the two simplified and detailed models of the composite floor reveals that the results are close but do not agree as well as the results of the composite slab models. In addition, the results are very sensitive to the stiffness of the slab being used twice as a mixed system. The implementation of the verified mixed slabs in the overall system without any change in stiffness does not take into account the offset of the neutral axis. This last consideration as well as the sensitivity analysis shows that one should always evaluate all aspects of a model such as simplification choices and results but also the parts of a model that have already been verified.



Déformation du modèle local avec et sans appui dans la direction horizontale © Anna Schmidt, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

BOURRIER, P. et BROZZETTI, J., 1999. *Construction métallique et mixte acier-béton, calcul et dimensionnement selon Eurocode3 et Eurocode4*. Tome 1. Paris : Eyrolles.



Roberta SIMONE

Élève ingénieure double diplôme
Politecnico di Milano, Italie

Promotion 2018

Mission en entreprise réalisée à
Thornton Tomasetti Canada

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Ken MASCHKE, vice-président

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Cyril DOUTHE, chercheur, laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech



Structures en bois : modélisation de l'anisotropie

Bois de construction • Bois lamellé croisé • Konstru •
Logiciels CSI • Modèles aux Éléments finis

Contexte

Les produits en bois massif sont relativement nouveaux dans le marché de la construction, surtout en Amérique du Nord ; on accroît leur utilisation parce qu'ils ont des caractéristiques telles qu'on peut les comparer aux matériaux les plus traditionnels. On rencontre des difficultés pour la création de modèles aux éléments finis parce que les logiciels utilisés dans les bureaux d'études ne permettent pas de les modéliser facilement.

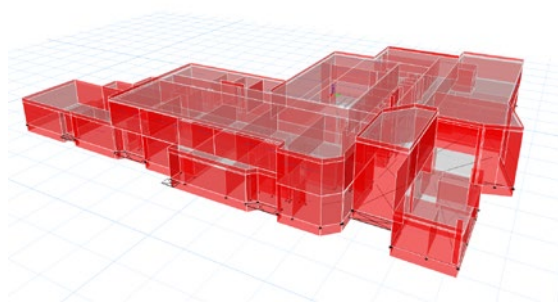
Missions et objectifs

L'étude fait partie d'un projet institué par le groupe de recherche Toronto Research Initiative, avec pour finalité d'encourager l'utilisation du bois dans la construction. Pour ce faire, une solution alternative en bois est présentée pour des projets déjà réalisés par l'entreprise avec des matériaux différents afin de comparer les bâtiments sous différents aspects, tels que l'efficacité structurelle, le coût et l'utilisation de ressources primaires.

Résumé

Il s'agit de découvrir les modalités pour modéliser le bois de construction en utilisant des logiciels aux éléments finis, tels que SAP2000, ETABS et Safe en identifiant les principes théoriques à la base de la modélisation de ce matériau et des produits couramment utilisés. Pour présenter les procédures de modélisation, une étude de cas et un projet de recherche ont été développés. Dans le premier cas, on analyse la modélisation d'une école primaire à l'aide de Konstru, un outil conçu pour transformer un modèle Revit en modèle d'analyse ; les recherches sur les dalles CLT avec supports ponctuels sont effectuées à l'aide de SAP2000 et de Safe. Dans les deux cas, les résultats

obtenus à partir des modèles FEM sont comparés aux calculs effectués à la main. Dans le cas du projet d'une école primaire, les logiciels SAP2000 et ETABS ont été utilisés et on modélise les panneaux à l'aide de la théorie composite, proposée par Blass et Fellmoser, également appelée « méthode K ». Selon cette théorie, un panneau en bois lamellé croisé peut être modélisé comme une couche homogène en lui donnant les propriétés d'un matériau orthotrope. L'analyse des plaques avec des supports ponctuels a été menée à l'aide de SAP2000 et de Safe. En ce qui concerne la modélisation avec le logiciel Safe, on se base sur la méthode d'analogie du cisaillement proposée par Kreuzinger en 1999, utilisée pour trouver l'épaisseur équivalente des panneaux CLT dans les directions parallèles et perpendiculaires et les facteurs de modification de cisaillement.



Milton Elementary School, modélisation avec le logiciel ETABS © Roberta Simone, 2018.

Timber structures: modeling anisotropy

Cross-laminated timber • Timber • Konstru •
CSI software • FEM modelling

Context

Engineered-wood products are a suitable substitute to other materials to reduce labour costs and provide renewable construction materials that offer a similar strength compared to concrete and steel. However, the numerical modelling of wood structures is challenging because the engineering software currently used in the industry to model structures does not allow for wood to be modelled easily.

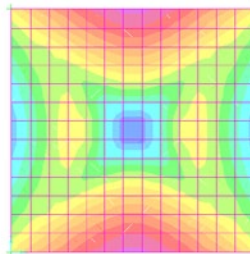
Missions and goals

This study is developed as a research project in Thornton Tomasetti's Toronto office research committee, entitled Toronto Research Initiative (TRI), to encourage timber use in construction. To do so, an alternative wooden solution is presented for projects already produced by the company with different materials to compare buildings under different aspects, such as structural efficiency, cost and use of primary resources.

Abstract

This research aims to determine how to model engineered wood products using FEM software. To present the modelling procedures, a case study and a research project are developed. For the former, the modelling of an elementary school is analyzed using Konstru as a tool to transform a Revit model into an analysis model; research on CLT slabs with point supports is carried out using SAP2000 and Safe. In both cases, the results

obtained from the FEM models are compared to calculations performed by hand. In the elementary school project case, SAP2000 and ETABS software are used and panels are modelled using the composition factors theory. This theory, proposed by Blass and Fellmoser, implies the homogenization of solid wood panels with cross layers into one orthotropic layer material. The analysis of punctually supported slabs is carried out using SAP2000 and Safe. For the latter, the Shear Analogy Method proposed by Kreuzinger is used to find the CLT panels equivalent thickness in the parallel and perpendicular directions and the shear modification factors.



Moment fléchissant sur la plaque avec des supports ponctuels, logiciel SAP2000 © Roberta Simone, 2018.



Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

BLASS, Hans Joachim et FELLMOSE, Peter, 2004. Design of solid wood panels with cross layers. In : *Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering (WTCE)*. Lahti (Finlande) : Finnish Association of Civil Engineers RIL. 2004. p. 543-548.

CANADIAN COMMISSION ON BUILDING AND FIRE CODES, 2011. *User's Guide – NBC 2010 Structural commentaries (part 4 of division B)*. Canada : National Research Council of Canada, 225 p. NRCC 53543.

KREUZINGER, Heinrich, 1999. Platten, Scheiben und schalen: ein Berechnungsmodell für gangbare Statikprogramme. *Bauen mit Holz*, 1999, vol. 101, n°1, p. 34-39.



Fernando Josue TENELEMA MUÑOZ

Élève ingénieur double diplôme
Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelone, Espagne

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
RFR

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Pierre GUEROLD, ingénieur

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Laurence DAVAINE, enseignante, École des Ponts ParisTech



Étude & modélisation de la charpente et des assemblages de la structure de la gare d'Orsay

Enveloppe • Assemblage • Mécano-soudé • Moulé • Impression 3D

Contexte

Pour concevoir une gare, il est important de prendre en compte qu'elle n'est pas seulement un lieu de transport, mais aussi un endroit qui attire des milliers de personnes par jour. C'est un lieu condensé d'urbanité, qui doit à la fois aider au développement rapide d'une ville et assurer son intégrité dans l'espace urbain environnant. Dans cet esprit, le plus grand projet urbain en Europe, le Grand Paris Express, est né. Dans le cadre de ce projet multi-forme, est envisagée la réalisation d'une nouvelle ligne du métro parisien : la ligne 18. Cette ligne comportera dix gares dont trois aériennes sur le plateau de Saclay : les gares de Palaiseau, Orsay-Gif et CEA Saint-Aubin. Ces gares constituent un assemblage complexe d'espaces et de volumes imbriqués tels qu'un viaduc, des bâtiments R+2 et une superstructure. Cette superstructure ou enveloppe correspond à la liaison entre les bâtiments et l'espace urbain. Elle permet d'identifier l'intérieur et l'extérieur des gares et de délimiter leurs frontières et seuils. En outre, les assemblages entre les différents éléments de l'enveloppe assurent la continuité des efforts transmis et montrent le fonctionnement structurel de ces gares. Ces assemblages jouent aussi un rôle esthétique important.

Missions et objectifs

- Calcul EF de sections et d'assemblages ;
- conception de charpente ainsi que d'assemblages et optimisation (intégration d'essais en soufflerie turbulente) ;
- étude de la géométrie de la gare et impression 3D des certains assemblages ;
- capacité à s'insérer dans la vie professionnelle et aptitude à prendre en compte les enjeux propres de l'entreprise et de la société.

Résumé

Assurer la liaison entre une structure et l'espace urbain et séparer l'intérieur de la structure de l'extérieur sont les fonctions de l'enveloppe. Les enveloppes sont en général des structures en acier constituées d'une ossature porteuse en portique. Les portiques peuvent être composés de profilés laminés ou creux, élaborés en usine et ensuite assemblés sur le site de construction. Les assemblages des profilés nécessitent des fixations permettant de transmettre les efforts supportés par la structure. Ils jouent un rôle essentiel permettant la construction de la structure spatiale en acier apte à supporter les charges et les surcharges appliquées et, surtout, assurant sa pérennité et sa stabilité globale. Dans ce projet de fin d'études, nous avons procédé à la modélisation, à l'impression 3D des assemblages mécano-soudés et moulés de la gare aérienne d'Orsay de la ligne 18 du projet « Le Grand Paris Express », et justifié le choix du type d'assemblage utilisé.

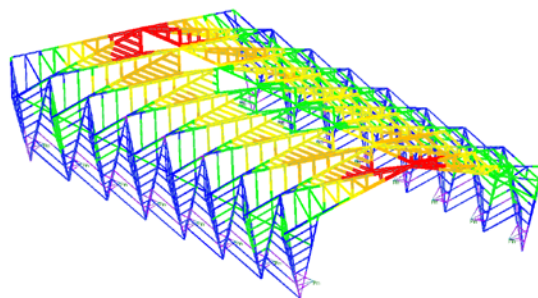


Diagramme de déformation de la charpente métallique de la gare d'Orsay © Fernando Josue Tenelema Muñoz, 2019.

Modeling of the framework and assemblies of the Orsay railway station

Envelope • Assembly • Welded assembly •
Molded assembly • 3D printing

Context

To properly design a railway station it is important to take into account that it is not only a place of transport, but also a place that attracts thousands of people a day. It is a condensed place of urbanity, which both helps the rapid development of a city and ensures its integrity in the surrounding urban space. With this in mind, the largest urban project in Europe, the Grand Paris Express, was born. As part of this multifaceted project, it is envisaged the realization of a new line of the Parisian metro: the line 18. This line will include ten stations including three overhead on the Saclay plateau: the stations of Palaiseau, Orsay-Gif and CEA Saint-Aubin. These stations constitute a complex assembly of nested spaces and volumes such as a viaduct, R + 2 buildings and a superstructure. This superstructure or envelope corresponds to the connection between the buildings and the urban space. It identifies the inside and outside of stations and delimits their borders and thresholds. In addition, the assemblies between the different elements of the envelope ensure the continuity of the forces transmitted and show the structural operation of these stations. These assemblies also play an important aesthetic role.

Missions and goals

- FEM calculation of sections and assemblies;
- frame and assembly design and optimization (integration of turbulent wind tunnel tests);
- study of the station geometry and 3D printing of certain assemblies;
- ability to integrate into professional life and ability to take into account the specific challenges of the company and society.

Abstract

Ensuring the link between a building and the urban space and separating the conditioned and unconditioned environment of a building are the main functions of its envelope. A building envelope is generally a steel structure consisting of a portal frame, which are made from factory-made rolled or hollow sections to be assembled then at the construction site. The assemblies of these profiles require fasteners to transmit the forces supported by the structure. They play a vital role in the construction of the steel structure capable of supporting the loads and overloads applied and, above all, ensuring its durability and overall stability. In this report, we will showcase the modeling, 3D-printing of welded and molded assemblies of the Orsay air terminal of line 18 of the "Le Grand Paris Express" project and the justification of the choice of the type of assembly.



Impression 3D en résine de l'assemblage type C © Fernando Josue Tenelema Muñoz, 2019.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Éléments de bibliographie

BERTOL, Daniela, 2011. *Form geometry structure: from nature to design* [en ligne]. Bentley Institute Press. Disponible à l'adresse : <http://dro.deakin.edu.au/view/DU:30059115> [consulté le 15 avril 2020].



Matthieu THÉSÉ

Élève ingénieur concours commun
Parcours Structure & Architecture

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
T/E/S/S

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Jorge HIDALGO, ingénieur, associé

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Arthur LEBEE, chercheur, laboratoire Navier,
École des Ponts ParisTech



Conception et vérification d'assemblages en verre structurel

Verre structurel • Fiabilité des structures • Adhésif structurel

Contexte

Les récents progrès dans l'industrie verrière et l'industrie chimique ont conduit au développement d'une nouvelle typologie d'assemblages : les assemblages collés. Ces assemblages mettent en jeu des matériaux aux propriétés mécaniques complexes : d'une part, le verre, qui est fragile, et d'autre part les colles qui sont viscoélastiques. La justification de tels assemblages vis-à-vis de l'Eurocode nécessite une démarche particulière.

Missions et objectifs

L'influence des actions climatiques sur ces assemblages est problématique. D'une part, le vent sollicite l'assemblage. D'autre part, la température et le rayonnement solaire ont une influence fondamentale sur la résistance. Ce projet de fin d'études développe une analyse conjointe de l'action du vent, de la température et du rayonnement solaire en vue d'améliorer le dimensionnement de ces assemblages.

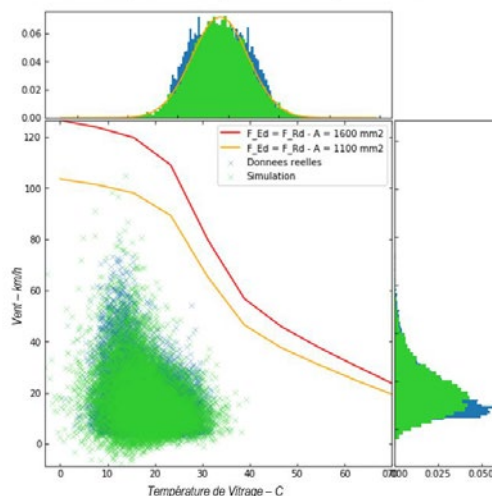
Résumé

Ce projet de fin d'études développe une analyse exhaustive du dimensionnement d'un assemblage en verre collé. D'abord les charges de vent exercées sur l'assemblage sont calculées en analysant des fichiers de données météorologiques. Ensuite, l'analyse de données météo permet de déterminer des températures et des rayonnements solaires caractéristiques. L'étude des mécanismes physiques responsables de l'échauffement des vitrages permet de déterminer la résistance de l'assemblage. La détermination de ces valeurs permet d'effectuer un premier dimensionnement, cohérent avec la démarche classique développée par les codes de construction.

Les règlements de construction postulent l'indépendance entre les différentes actions climatiques s'exerçant sur une structure. Or, les phénomènes climatiques responsables des vents caractéristiques (fronts dépressionnaires) et températures caractéristiques (canicules) sont manifestement incompatibles. La dépendance entre les actions climatiques en jeu est prise en compte grâce à une simulation de Monte-Carlo. L'utilisation de cette méthode conduit à une réduction significative de la dimension de l'assemblage, de l'ordre de 40%.

Les outils développés dans le cadre de cette étude sont appliqués sur un projet en cours : une verrière en verre structurel comprenant des éléments de grandes dimensions.

Evaluation de la probabilité de rupture de l'assemblage – Méthode de Monte-Carlo



Dimensionnement par simulation de Monte-Carlo © Matthieu Thésé, 2019.

Design of structural glass assemblies

Structural glass • Structural reliability • Structural adhesive

Context

Recent advances in the glass and chemical industries have led to the development of a new type of assembly: glued assemblies. These assemblies involve materials with complex mechanical properties: on the one hand, glass, which is fragile, and, on the other, adhesives, which are visco-elastic. The justification of such assemblies with respect to the Eurocode requires a particular approach.

Missions and goals

The influence of climate actions on these assemblies is problematic. On the one hand, the wind stresses the assembly. On the other hand, temperature and solar radiation have a fundamental influence on the strength. This final year project develops a joint analysis of the action of wind, temperature and solar radiation in order to improve the dimensioning of these assemblies.

Abstract

The final year project develops an exhaustive analysis of the dimensioning of a bonded glass assembly. First the wind loads exerted on the assembly are calculated by analyzing meteorological data files. Then, the analysis of weather data allows for the determination of characteristic temperatures and solar radiation. The study of the physical mechanisms responsible for the heating of the glazing allows the strength of the assembly to be determined. The determination of these

values allows for a first dimensioning, consistent with the classical approach developed by building codes.

The building regulations postulate the independence of the different climatic actions exerted on a structure. However, the climatic phenomena responsible for characteristic winds (low pressure fronts) and characteristic temperatures (heat waves) are clearly incompatible. The dependence between the climatic actions at stake is taken into account thanks to a Monte-Carlo simulation. The use of this method leads to a significant reduction in the size of the assembly, on the order of 40%.

The tools developed within the framework of this study are applied to an ongoing project: a structural glass canopy comprising large elements.

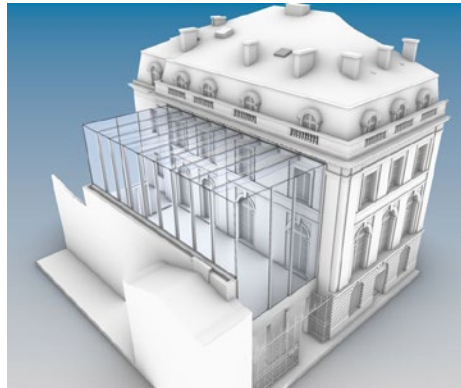


Image d'un projet en cours © Matthieu Thésé, 2019.

Éléments de bibliographie

SANTARSIERO, Manuel, LOUTER, Christian et NUSSBAUMER, Alain, 2016. Laminated connections for structural glass applications under shear loading at different temperatures and strain rates. *Construction and Building Materials*. 15 décembre 2016. Vol. 128, p. 214-237. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.10.045.

CALGARO, Jean-Armand et VIÉ, Dominique, 2016. *Éléments de fiabilité des constructions : introduction aux eurocodes*. Antony, France : éditions le Moniteur. ISBN 978-2-281-14053-8.

COOK, Nigel John, 1986. *The Designer's Guide to Wind Loading of Building Structures*. Tome 1. Londres : Butterworth-Heinemass Ltd.

Bâtiment
Buildings

Géotechnique
Geotechnics

Gestion et
financement de
projets
Project management
and finance

Matériaux
Materials

Méthodes
Methods

Modélisation et
optimisation
Modelling and
optimization

Ouvrages d'art et
infrastructures
Engineering structures
and infrastructures

Performance
énergétique et
environnementale
Energy and
environmental
performance

Réhabilitation
Rehabilitation

Structures

Génie industriel

Industrial Engineering

Le département Génie Industriel a pour mission de former des ingénieurs généralistes de haut niveau capables de résoudre des problèmes industriels complexes dans des domaines variés. Le monde contemporain est actuellement confronté à de grandes transformations (transitions écologique et numérique notamment) qui constituent autant de défis que de nouvelles opportunités pour les entreprises. De plus, l'émergence de nouvelles technologies (*big data*, IA, fabrication additive, réalité augmentée, IOT) permet d'imaginer de nouveaux modèles industriels permettant de répondre aux nouvelles exigences des consommateurs en matière de qualité, de réactivité, de personnalisation des produits et d'impact environnemental et social.

Il s'agit donc de former des ingénieurs et de futurs dirigeants capables d'articuler ces technologies et d'accompagner la mutation de l'industrie vers de nouvelles démarches stratégiques et pratiques opérationnelles. Ainsi, l'enjeu de la formation réside dans le développement de compétences scientifiques et techniques pour penser et concevoir des systèmes industriels alternatifs, originaux, innovants et écoresponsables.

Le génie industriel à l'École

Le génie industriel s'intéresse à l'amélioration, l'optimisation et la conception de systèmes industriels complexes (organisations, systèmes de production et de fabrication, usines, R&D, processus industriels, *supply chain*, logistiques). Il utilise les connaissances scientifiques des mathématiques, de la physique, de l'économie, de la gestion, des sciences humaines et sociales et des méthodes de l'ingénierie. L'objectif est de spécifier, concevoir, évaluer et prédire les résultats de ces systèmes.

Pour répondre à ces enjeux, le département propose un large choix de cours permettant aux étudiants de mieux appréhender le fonctionnement des entreprises sur de multiples dimensions. Il introduit aussi les étudiants aux grandes transformations en cours dans les systèmes industriels contemporains. Il met particulièrement l'accent sur les compétences au cœur du génie industriel : planification et modélisation de systèmes de production, recherche opérationnelle, management de la *supply chain*, théories et méthodes de la conception pour l'innovation, développement logiciel, outils de modélisation et de simulation, statistique numérique et analyse de données, *marketing*, achat, logistiques, protection de l'innovation, *design thinking*, stratégie d'entreprise, finance, etc.

Métiers

L'ingénieur des ponts et chaussées spécialisé en génie industriel maîtrise les concepts scientifiques et techniques fondamentaux lui permettant d'appréhender tous les enjeux des systèmes industriels complexes, de la conception à la production de technologies et de produits innovants, en passant par l'approvisionnement et la distribution de biens et de services.

Le département forme des ingénieurs aux métiers de l'industrie dans des secteurs industriels variés (luxe, automobile, aéronautique, cosmétique, énergie, pharmacie, agroalimentaire, construction, télécoms, etc.), par exemple pour les postes de responsable *supply chain*, chef de projet en conception, responsable de production, *data analyst*, etc. Les métiers du conseil en stratégie, en organisation, en *supply chain* et en systèmes d'information constituent également une importante source de débouchés pour les étudiants



Une Nuit pour Entreprendre © Wind my Roof - École des Ponts ParisTech.



Fabrice Bonneau

 Président
 Department Head



Benjamin Cabanes

 Responsable
 académique
 Academic Head



Sandrine Guillerm

 Inspectrice des études
 Academic Advisor



Aurélie Mortier

 Assistante polyvalente
 Department Assistant

The Department of Industrial Engineering aims to educate and train high-level generalist engineers able to solve complex industrial problems in various fields. The contemporary world is currently facing major transformations (ecological and digital transitions in particular) which constitute as many challenges as new opportunities for industrial organizations. Moreover, the emergence of new technologies (Big Data, AI, Additive Manufacturing, Augmented Reality, IOT) makes it possible to imagine new industrial models to meet new consumer requirements in terms of quality, responsiveness, product customization and environmental and social impact. Therefore, the objective is to train engineers and future managers capable of articulating these technologies and accompanying the industry's transformation towards new strategic approaches and operational practices.

Thus, the challenge of the training lies in the development of scientific and technical skills to think and design alternative, original, innovative and eco-responsible industrial systems.

Industrial engineering at the École

Industrial engineering concerns the design, the improvement and the optimization of complex industrial systems (organizations, production and manufacturing systems, R&D, industrial processes, supply chain, logistics). It uses scientific knowledge of mathematics, physics, economics, management, human and social sciences and engineering methods. The objective is to specify, design, evaluate and predict the results of these systems.

To respond to these challenges, the department offers a wide range of courses that enable students to better understand the functioning of organizations on multiple dimensions. It also introduces students to the major transformations taking place in contemporary industrial systems. In particular, it focuses on the core skills of industrial engineering: production and manufacturing, operations management, operations research, supply chain management, design engineering and innovation, software development, modeling and simulation tools, numerical statistics and data analysis, marketing, purchasing, logistics, intellectual property, design thinking, corporate strategy, finance, etc.

Job market opportunities

An École des Ponts engineer specialized in industrial engineering masters the fundamental scientific and technical concepts that enable him/her to grasp all the issues involved in complex industrial systems, from the design to the production of innovative technologies and products, including the supply and distribution of goods and services.

The department trains engineers in a variety of industrial sectors (luxury goods, automotive, aeronautics, cosmetics, energy, chemical industries, health services, pharmaceuticals, food processing, construction, financial services, telecoms and digital, etc.). For example, supply chain manager, design product manager, production manager, data analyst. The professions of strategy, organization, supply chain and information systems consulting are also an important source of opportunities for students.

The department offers a choice of two career paths: design engineering & innovation and operations engineering & optimization.



Signature de la chaire Supply chain du futur, 14 février 2019 © David Delaporte - École des Ponts ParisTech.

Laboratoires partenaires et chaires

Research partnerships and chairs

Laboratoires • Laboratories



CERMICS

Centre d'Enseignement et de Recherche en Mathématiques et Calcul Scientifique. Thématiques : mathématiques appliquées, calcul scientifique, modélisation, optimisation.

Research Center in Mathematics and Scientific Computing. Themes: applied mathematics, scientific computing, modeling, optimization.

LATTS

LATTS

Laboratoire Techniques, Territoires et Sociétés. Thématiques : sciences sociales, aménagement, histoire, dialogue entre sciences sociales et technique et ingénierie, dans les entreprises comme dans les administrations. Deux grands domaines abordés : organisations productives et organisations territoriales.

Technologies, Territories, and Societies Laboratory. Themes: social sciences, spatial planning, history, dialogue between social sciences and technology and engineering, in both private sector companies and the public sector. Two major domains tackled: productive organizations and territorial organizations.



LIGM

Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge. Thématiques : algorithmes et architectures pour l'analyse et la synthèse d'images ; combinatoire algébrique et calcul symbolique ; logiciels, réseaux et temps réel ; modèles et algorithmes ; signal et communication.

Gaspard Monge Computer Science Laboratory. Themes: algorithms and architectures for image analysis and synthesis; algebraic combinatorics and symbolic computation; software, networks and real time; models and algorithms; signal and communication.

Chaires • Chairs

Chaire « Supply chain du futur » • Chair "Supply chain of the future"

L'objet de la coopération entre l'École de Ponts ParisTech, Michelin, Renault, Groupe Casino et Louis Vuitton, est de soutenir l'innovation et la recherche dans le domaine de la Supply Chain. L'enjeu est notamment d'étudier et d'analyser l'impact des nouvelles technologies (internet des objets, data sciences, blockchain, intelligence artificielle, fabrication additive, recherche opérationnelle stochastique) sur la supply chain du futur et la compétitivité des entreprises.

The purpose of the cooperation between École de Ponts ParisTech, Michelin, Renault, Casino and Louis Vuitton is to support innovation and research in the field of Supply Chain. In particular, the aim is to study and analyze the impact of new technologies (Internet of Things, data sciences, blockchain, artificial intelligence, additive manufacturing, stochastic operational research) on the supply chain of the future and the competitiveness of companies.

Les projets de fin d'études

Final Year Projects

Data science

BONNECHÈRE SÉVERINE | Construction des emplois du temps des personnels navigants commerciaux à Air France
Commercial Crew Scheduling at Air France

GALVAGNE BENJAMIN | Alignement de séquences de lettres sur des couples de mots de langues de mêmes racines
Alignment of letter sequences on couples of words stemming from a same root language

Innovation et conception •

Innovation & design

BRECH LUCAS | Investigation d'une approche d'activation d'intelligence collective
Investigating a method of activating collective intelligence to transform organizations

ÉRARD SOLÈNE | Définition de stratégies d'innovation dans les grands groupes, en amont de collaborations
Definition of innovation strategies in large groups, upstream of collaborations

FERMANIAN CHRISTELLE | Les processus de gouvernance dans le secteur des transports en république de Guinée
Governance processes in the transport sector in the Republic of Guinea

LAMBERT LÉOPOLD | Pourquoi l'innovation de nos *start-up* peinent à pénétrer l'industrie de fabrication ?
Why is start-up innovation still struggling to enter the manufacturing industry?

Stratégie • Strategy

BRINGER GASPARD | Comment faire de l'agriculture marocaine un levier de développement économique et social ?

How to make Moroccan agriculture a lever of development, both economic and social?

DECOTTIGNIES-DIENNE ADRIEN | Délégation de service public : développer un projet en réponse à un appel d'offres
Public Service Delegation: to develop and answer a call for tender

MEJIA GOMEZ ALEJANDRA | Financement de la transition écologique : quelle place pour les infrastructures ?
Financing the environmental transition: what role for infrastructure?

Supply chain management

BEKHOUCHE MARION | Comment gérer la transition du réseau Louis Vuitton Americas vers un modèle omnicanal ?
Management of a seamless transition to an omnichannel strategy

GARREC MATHIS | Introduire la gestion des risques dans la construction d'un design supply chain
Using risk management processes to help design a supply chain

JUSTO PEREIRA MARIANA | Comment faire de la *supply chain* un levier stratégique de compétitivité ?
How to turn the supply chain into a strategic lever of competitiveness?



Séverine BONNECHÈRE

Élève ingénieure concours commun
Master parisien de Recherche opérationnelle,
Conservatoire national des Arts et métiers

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Air France

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Christophe MÉNAGER, ingénieur recherche opérationnelle

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Axel PARMENTIER, chercheur, CERMICS, École des Ponts ParisTech



Construction des emplois du temps des personnels navigants commerciaux à Air France

Recherche opérationnelle • Transport aérien • Planning équipage •
Génération de colonnes

Contexte

La recherche opérationnelle d'Air France développe et améliore continuellement les moteurs d'optimisation destinés à construire les plannings du personnel navigant. En particulier, le moteur développé pour le long courrier n'est pas en mesure aujourd'hui d'affecter la totalité des tâches dans le temps imparti, tout en respectant les nombreuses contraintes légales et internes à la compagnie.

Missions et objectifs

- Questionner les stratégies d'optimisation utilisées actuellement dans le moteur d'affectation long courrier ;
- proposer, développer et tester d'autres méthodes d'optimisation combinatoire pour améliorer l'efficacité de l'optimisation.

Résumé

Le moteur développé pour le long courrier est l'un des plus contraints, car il traite la plus grande population (10 000 personnels navigants commerciaux). Au cours de ce projet de fin d'études, deux approches heuristiques ont été étudiées afin d'améliorer la quantité de tâches placées, tout en respectant les contraintes réglementaires et le temps d'exécution accordé au programme (4 heures). La première consiste à optimiser itérativement sur une sous-partie de la population (séparation en sous-problèmes) et s'avère structurellement contre-performante à cause de nombreuses contraintes couplantes. L'autre approche vise à développer un générateur de colonnes heuristique, ciblant certaines structures de planning (enchaînement de certaines structures de vol, etc.) qu'on estime améliorantes pour la qualité de la solution. Cette approche a donné des résultats encourageants et il est envisagé de la mettre en production dans les algorithmes d'Air France.

Commercial Crew Scheduling at Air France

Operations research • Air transport • Crew scheduling •
Column generation

Context

Air France's Operations Research department is continuously developing and improving its optimization engines for crew scheduling. The engine dealing specifically with long-haul cabin crew scheduling is one of the most challenging, as it involves the biggest population (10 000 crew members). It is thus not able today to assign all the tasks within the execution time allowed, while respecting the numerous legal and company-specific constraints.

Missions and goals

- Challenge current optimization strategies in long-haul crew scheduling engine ;
- suggest, develop and test other combinatorial optimization approaches to improve optimization efficiency.

Abstract

During this final year research project, two main heuristic approaches were studied in order to improve the quantity of assigned tasks, while solving in the limited given time (4 hours), and respecting all regulatory constraints. The first one consists in iteratively optimizing on a sub-population (sub-problem reduction), and turns out to be counter-productive, because of coupling constraints including specific requirements in crew pairing. The other approach aims to develop a heuristic column generator, focusing on particular scheduling patterns (flights structure sequence, etc) we believe to improve the solution quality. This approach gives encouraging results, though needs to be further investigated to be fully exploitable and put in production.

Éléments de bibliographie

PARMENTIER, Axel, 2013. *Aircraft routing: complexity and algorithms*. Rapport de stage de master : master parisien de recherche opérationnelle. École des Ponts ParisTech.

KASIRZADEH, Atoosa, SADDOUNE, Mohammed et SOUMIS, François, 2017. Airline crew scheduling: models, algorithms, and data sets. *EURO Journal on Transportation and Logistics* [en ligne], 2017, vol. 6, n° 2, pp. 111-137. DOI 10.1007/s13676-015-0080-x [consulté le 27 avril 2020].

VAN DEN BERGH, Jorne, BELIËN, Jeroen, DE BRUECKER, Philippe, DEMEULEMEESTER, Erik et DE BOECK, Liesje, 2013. Personnel scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research* [en ligne], 2013, vol. 226, n° 3, pp. 367-385. DOI 10.1016/j.ejor.2012.11.029 [consulté le 27 avril 2020].

Amélioration
continue & Lean
management
Continuous
improvement & Lean
management

Data analytics

Data science

Entrepreneuriat
Entrepreneurship

Innovation et
conception
Innovation & Design

Management de la
production et des
opérations
Production and
operations
management

Stratégie
Strategy

Supply chain
management



Benjamin GALVAGNE

Élève ingénieur HEC, diplôme d'ingénieur

Promotion 2018

Création d'entreprise

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Antoine BRENNER, CEO - Gymglish

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
François YVON, enseignant, université Paris-Saclay



École des Ponts
ParisTech



Alignement de séquences de lettres sur des couples de mots de langues de mêmes racines

NLP • Traitement du langage naturel • Machine learning •
Langues étrangères • Automates • Levenshtein

Contexte

Grand passionné de langues étrangères, j'ai depuis quelques années réfléchi aux économies d'échelle réalisables sur chaque langue additionnelle apprise et qui peuvent, si intégrées de manière pertinente dans le processus d'apprentissage, le faciliter pour l'apprenant. Ce projet doit couvrir une partie des enjeux liés à la mémorisation du vocabulaire et les présenter sous la forme d'une application mobile, en laissant de côté tous ceux, riches, liés à la grammaire.

Missions et objectifs

L'objectif a été d'identifier, dans des corpus de vocabulaire bilingues, des motifs de transformation de séquences de lettres qui étaient récurrents parmi les couples de mots partageant une racine commune. Ainsi, nous voulions quantifier le lien de parenté qu'il existe entre les deux langues choisies et par la suite, pour chaque schéma identifié, générer de manière automatique des listes d'exemples de couples de mots présentant ledit schéma afin de souligner sa récurrence entre les deux langues, et de favoriser un apprentissage de la langue en différentiel.

Résumé

Après avoir établi des critères de filtrage des données, nous avons mis en place un crible permettant d'éliminer les paires ne présentant aucune similarité puis de soustraire aux paires de mots les lettres non structurales du point de vue de la morphologie. Nous avons ré-encodé la distance d'édition de Levenshtein au moyen d'automates (qui permettent une plus grande flexibilité) afin d'adapter la pénalisation que l'on souhaitait appliquer à chacune des opérations d'édition (copie, suppression, ajout, remplacement) en fonction de sa capacité à restituer des phénomènes morphologiques. Par la suite, nous avons mis ces transformations sous la forme de « sacs d'opérations » (en référence aux « sacs de mots ») afin de pouvoir les comparer (par similarité cosinus par exemple). Nous avons également fait changer certains éléments de la composition de ces sacs d'opérations en prenant, par exemple, des classes de lettres (phonétiques) pour regrouper des lettres qui pouvaient avoir la même histoire dans les langues mères du couple de langues considéré, des séquences d'opérations afin de capter des phénomènes s'étendant sur une plus grande longueur, ou encore des séquences disjointes d'opérations. Nous avons ensuite combiné (composé) plusieurs automates, chacun ayant une fonction propre dans la chaîne d'analyse, afin d'obtenir un traitement séquencé de nos chaînes de caractères, renvoyant par un jeu de compositions les n couples du corpus les plus proches du couple rentré au sens d'une transformation d'une chaîne de caractères en une autre.

```
{'f', 'h'}
{'compte': 20,
 'liste_occurrences_de_transformation': [{'faim', 'hambre'},
 ('farineux', 'harinosa'),
 ('faucón', 'halcón'),
 ('ferrer', 'herrar'),
 ('figue', 'higo'),
 ('fil', 'hilo'),
 ('four', 'horno'),
 ('fourmi', 'hormiga'),
 ('fournaise', 'horno'),
 ('foyer', 'hogar'),
 ('fougasse', 'hogaza')]
```

```
{'t' -> 'z'} :
('aanbetalen', 'anzahlen')
('aantekenen', 'aufzeichnen')
('betoverend', 'bezaubernd')
('betuigen', 'bezeugen')
```

Illustration de paires français-espagnol et allemand-néerlandais présentant la même transformation respectivement {f->h} et {t->z} © Benjamin Galvagne, 2019.

Alignment of letter sequences on couples of words stemming from a same root language

NLP • Natural Language Processing • Machine learning •
Foreign languages • Transducers • Levenshtein

Context

As a language enthusiast, I have been thinking for years about the economies of scale that can be achieved for each additional language learned and how, if integrated in a relevant way into the learning process, it can be facilitated for the learner. This project should cover some of the issues related to vocabulary memorization and present them in the form of a mobile application, leaving aside all the rich issues related to grammar.

Missions and goals

The objective was to identify, in bilingual vocabulary corpora, patterns of transformations of letter sequences that were recurrent among pairs of words sharing a common root. Thus, we wanted to quantify the relationship between the two chosen languages, and then, for each identified pattern, to automatically generate lists of examples of pairs of words presenting the pattern in order to highlight its recurrence between the two languages, and to foster a differential approach when learning these languages.

Abstract

After establishing data filtering criteria, we implemented a sieve allowing to eliminate the pairs of words showing no similarity to each other, and then to remove from the remaining pairs the letters considered as not structural from a morphological point of view. We re-encoded the Levenshtein edition distance by way of automats (that offers enhanced flexibility) in order to adapt the penalisation we wanted to apply to each of these edition operations (copy, remove, add, replace) according to their capacity to retrieve morphological phenomenas. Then, we vectorized these operations under the form of "bag-of-operations" (similar to "bag-of-words") so as to be able to compare them (through cosine similarity for example). We also changed some elements of these bags-of-operations by taking, for instance, (phonetic) classes of letters in order to gather letters that could have had the same history in the native language of two languages under consideration, sequences of operations in order to include phenomena happening on longer sequences, or even disjointed sequences of operations. We then composed several transducers, each of which had its own specific role, in order to obtain a sequential treatment of our strings of characters that would return, through these various compositions, the n couples among the corpus that are closest to the input couple.

[« س » <-> « ش » or « س » <-> « د »] : [« ش ل و ا م », "la paix"], [« س ن ة », "the year"], [« ش ل ا ع ة », "the hour"], [« د ي ب ه », "the reason"], [« ن ة ن ة », "the engineering"]

[« م » <-> « م » or « ل ا » <-> « غ »] : [« ل م و ا م ي ق », "deep"], [« ل ا ل م », "le monde"],

- Amélioration continue & Lean management
- Continuous improvement & Lean management
- Data analytics
- **Data science**
- Entrepreneuriat
- Entrepreneurship
- Innovation et conception
- Innovation & Design
- Management de la production et des opérations
- Production and operations management
- Stratégie
- Strategy
- Supply chain management



Lucas BRECH

Élève ingénieur concours commun

Promotion 2018

Mission en entreprise réalisée à
Synapscore

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Benoît BARRIÈRE, directeur des opérations

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Aurélie DELEMARLE, Directrice académique du département Génie industriel,
École des Ponts ParisTech



Investigation d'une approche d'activation d'intelligence collective

Intelligence collective • Plateforme digitale • Interactions • Transformation

Contexte

L'objectif de cette étude est double. D'une part, elle vise à comprendre une méthode d'activation de l'intelligence collective développée par Synapscore et à en éprouver les fondements scientifiques. D'autre part, elle cherche à identifier la production d'intelligence collective par cette méthode dans un cas donné. La méthode analysée allie une plateforme digitale de collaboration et des services d'accompagnement de type « conseil ».

Missions et objectifs

Pour réaliser ces objectifs, l'étude détaille un cas de déploiement de la méthode Synapscore suivi pendant la durée du projet de fin d'études. Elle propose une mise en regard des fonctionnalités de la plateforme et des éléments de service avec les facteurs de l'intelligence collective mis en évidence dans la littérature. Au moment de l'analyse, la méthode étudiée existe déjà.

Résumé

L'étude a permis de confirmer le bien-fondé scientifique de la méthode développée par Synapscore et d'identifier des pistes d'enrichissement et d'amélioration. L'application à ce cas fournit une base d'expérimentation pour mieux comprendre les manifestations de l'intelligence collective dans le cadre d'un projet de réflexion stratégique. Des signaux encourageants de production d'intelligence collective directe et indirecte y sont observés.

Il reste cependant à multiplier les cas d'étude et à comprendre l'influence de la typologie de contexte et d'objet d'application de la démarche dans la production d'intelligence collective.



Teamwork © Fauxels, 2019 (source : Pexels).

Investigating a method of activating collective intelligence to transform organizations

Collective intelligence • Digital platform •
Interactions • Transformation project

Context

Collective intelligence has arisen as a key aspect of organizations' capacity to evolve in the face of their contemporary environments. Yet it appears to remain complex to measure and to implement, namely through the emerging profusion of digital collaborative tools.

Synapscore positions its offer precisely on the activation of collective intelligence, to help organizations transform themselves fast. Synapscore has developed an approach combining an online collaborative platform with consulting-like services.

Missions and goals

This study has a dual purpose. On one hand, it aims at questioning the scientific foundation of the existing Synapscore approach regarding the literature. On the other hand, it tries to qualify and understand the production of collective intelligence. To do so, this study analyzes the rolling out of the approach on a mission that took place during the final year project.

Abstract

The study confirmed the scientific foundation of Synapscore's approach and identified clues to improve and enrich it. The study also shed light on encouraging elements hinting at the production of both direct and indirect collective intelligence in the case studied.

To continue this work, it will now be interesting to replicate the analyze of the approach and to understand the influence of the external factors to the approach, namely the context and the nature of the mission in the case, regarding the emergence of collective intelligence.



Workshop © Fauxels, 2019 (source : Pexels).

Amélioration continue & Lean management
Continuous improvement & Lean management

Data analytics

Data science

Entrepreneuriat
Entrepreneurship

Innovation et conception
Innovation & Design

Management de la production et des opérations
Production and operations management

Stratégie
Strategy

Supply chain management

Éléments de bibliographie

GRÉSELLE-ZAÏBET, Olfa, 2019. Mobiliser l'intelligence collective des équipes au travail : un levier d'innovation agile pour transformer durablement les organisations. *Innovations* [en ligne], 2019, vol. 58, n° 1, pp. 219-241. Disponible à l'adresse : <https://www.cairn.info/revue-innovations-2019-1-page-219.htm> (consulté le 27 avril 2020).



Solène ÉRARD

Élève ingénieure concours commun
Échange avec l'université de Buenos Aires, Argentine

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Impulse Partners

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Jérôme PASQUIER, manager

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Aurélie DELEMARLE, directrice académique du département Génie industriel,
École des Ponts ParisTech



École des Ponts
ParisTech



Définition de stratégies d'innovation dans les grands groupes, en amont de collaborations

Stratégie d'innovation • Collaboration • Open innovation • Start-up

Contexte

Afin de répondre aux besoins des clients exigeants sur des marchés de plus en plus concurrentiels, les grands groupes se voient dans l'obligation de se tourner vers l'innovation. Ils peuvent ainsi avoir recours à des collaborations avec des *start-up*. Or, grands groupes et *start-up* présentent de nombreuses différences qui peuvent rendre les collaborations difficiles.

Missions et objectifs

Ce projet de fin d'études explore en quoi la définition d'une stratégie d'innovation par les grands groupes permet de favoriser les collaborations avec les *start-up* au travers de cas concrets.

Résumé

Ce projet permet de mettre en avant les aspects clés de la préparation d'un grand groupe en amont de collaborations avec des *start-up*. Il fait notamment ressortir au travers d'exemples l'importance de la définition du *scope* de la stratégie d'innovation, à savoir sur quels métiers, quelles activités ou quels produits elle doit se concentrer. Ensuite, il est nécessaire pour l'entreprise de définir si elle souhaite développer les innovations en interne ou via des collaborations. Bénéficier d'une vision d'ensemble des solutions déjà existantes sur le marché, grâce à une veille technologique, est aussi crucial. Enfin, la stratégie d'innovation ainsi constituée doit rester alignée avec celle du groupe afin que les efforts d'innovation soient soutenus et encouragés. Ce travail préparatoire permet aux collaborateurs d'un grand groupe de fixer des objectifs clairs quant aux collaborations avec les *start-up* afin d'éviter toute relation ambiguë. La définition d'une vision stratégique de l'innovation permet donc, via le travail d'élaboration de celle-ci, de faciliter les collaborations avec les *start-up*.

Definition of innovation strategies in large groups, upstream of collaborations

Innovation strategy • Collaboration • Open innovation • Start-up

Context

In order to meet the needs of increasingly demanding customers in competitive markets, large groups are forced to turn to innovation. They can for example choose to collaborate with start-ups. However, there are many differences between large groups and start-ups that can make these collaborations difficult.

Missions and goals

This final year project explores through concrete cases how the definition of an innovation strategy by large groups can foster collaborations with start-ups. It presents a number of good practices and explains how they can facilitate the collaboration between the two groups of actors.

Abstract

This project highlights the key aspects of a large group's preparation for collaborations with start-ups. It highlights, through examples, the importance of defining the scope of the innovation strategy, i.e. on which business lines, activities or products it should focus. Then, it is necessary for the company to define whether it wishes to develop innovations internally or through collaborations. Having an overview of the solutions already existing on the market, thanks to a technology watch, is crucial. Finally, it is necessary to ensure that the innovation strategy thus formed is aligned with that of the group so that innovation efforts are supported and encouraged. This preparatory work enables the employees of a large group to set clear objectives for collaborations with start-ups in order to avoid any ambiguous relationship. The definition of a strategic vision of innovation therefore facilitates collaboration with start-ups through the development of this vision.

Amélioration continue & Lean management
Continuous improvement & Lean management

Data analytics

Data science

Entrepreneuriat
Entrepreneurship

Innovation et conception
Innovation & Design

Management de la production et des opérations
Production and operations management

Stratégie
Strategy

Supply chain management



Christelle FERMANIAN

Élève ingénieure concours commun
Master of Environmental Engineering and Sustainable Infrastructure
Institut royal de technologie (KTH), Stockholm, Suède

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Sofreco

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Théo AUDIGIER, directeur de projet, département Énergie,
transport et infrastructure

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Aurélië DELEMARLE, directrice académique du département
Génie industriel, École des Ponts ParisTech



École des Ponts
ParisTech

Les processus de gouvernance dans le secteur des transports en république de Guinée

Transport • Gouvernance • Guinée • Développement • Acteurs

Contexte

La multiplicité des acteurs dans le secteur des transports en Guinée (secteur essentiel au développement économique et social du pays) complique la planification efficace à long terme de projets de développement : le gouvernement, les acteurs internationaux (pays occidentaux et Chine), et le secteur privé (compagnies minières) agissent individuellement sans prendre toujours en compte les attentes des populations.

Missions et objectifs

Comment les processus de gouvernance actuels des projets de transport en république de Guinée s'alignent-ils sur les besoins de développement du pays ? On étudiera l'évolution du secteur des transports au cours de la dernière décennie, les acteurs, leurs processus de gouvernance et la manière dont ils s'alignent et contredisent les attentes de développement en république de Guinée et comment ces processus peuvent être améliorés.

Résumé

Les processus de gouvernance sont très compliqués dans le secteur des transports en Guinée, en raison d'une multiplicité d'acteurs, un contexte historique (l'engagement et le désengagement des pays occidentaux avec la colonisation) et un manque de moyens financiers du gouvernement.

Ce projet de recherche étudie la façon dont les processus de gouvernance actuels dans le secteur des transports s'alignent sur les besoins de développement du pays. À travers une revue de la littérature, une étude documentaire, l'analyse de deux études de cas spécifiques et de nombreuses *interviews*, ce projet de recherche aboutit à plusieurs résultats.

Le développement du secteur des transports est important et essentiel dans l'économie guinéenne : de nombreux acteurs locaux sont impliqués dans le secteur des transports en Guinée et sont confrontés à des problèmes différents, mais il existe également des acteurs internationaux qui créent des opportunités et des menaces en termes de développement social et économique. Pour réduire ces menaces, les acteurs internationaux et l'État doivent se coordonner sur le financement des projets de transport. Différents processus peuvent être mis en œuvre en termes de priorisation des projets et de planification du financement. Pour avoir de meilleurs processus de gouvernance, les études et les processus de priorisation des projets doivent impliquer les citoyens en tant que véritables acteurs du développement de ce secteur des transports. Cela peut se faire par le biais de différents processus qui doivent conduire au développement d'un secteur des transports efficace, sûr et abordable pour tous.

Governance processes in the transport sector in the Republic of Guinea

Transport • Governance • Guinea • Development • Actors

Context

The multiplicity of actors in the transport sector in Guinea (a sector essential to the country's economic and social development) complicates effective long-term planning of development projects: the government, international actors (Western countries and China), and the private sector (mining companies) act individually without always taking people's expectations into account.

Missions and goals

How do the current governance processes for transport projects in the Republic of Guinea align with the country's development expectations? The evolution of the transport sector over the last decade, the actors, their governance processes and how they align and contradict development expectations in the Republic of Guinea, and how these processes can be improved will be assessed.

Abstract

Governance processes are very complicated in the transport sector in Guinea, due to a multiplicity of actors, the historical context (the engagement and disengagement of Western countries with colonization) and a lack of financial resources from the government.

This research project will explore how current governance processes in the transportation sector align with the country's development needs. Through a literature review, a desk-based study, the analysis of two specific case studies and numerous interviews, this research project leads to several results.

The development of the transport sector is important and essential in the Guinean economy: many local actors are involved in the transport sector in Guinea and face different problems, but there are also international actors who create opportunities and threats in terms of social and economic development. To reduce these threats, international actors and the government must be coordinated in terms of financing transport projects. Different processes can be implemented in terms of project prioritization and funding planning. To have better governance processes, studies and project prioritization processes must involve citizens as real stakeholders in the development of this transport sector. This can be done through various processes which should lead to the development of an efficient, safe and affordable transport sector for all.

- Amélioration continue & Lean management
- Continuous improvement & Lean management
- Data analytics
- Data science
- Entrepreneuriat
- Entrepreneurship
- Innovation et conception**
- Innovation & Design**
- Management de la production et des opérations
- Production and operations management
- Stratégie
- Strategy
- Supply chain management

Éléments de bibliographie

EDOHO, Felix M., 2011. Globalization and Marginalization of Africa: Contextualization of China – Africa Relations. *Africa Today* [en ligne], 2011, vol. 58, n° 1, p. 103-124. DOI 10.2979/africatoday.58.1.103 [consulté le 11.05.2020].

Plan national de transports [en ligne]. 2001. Rapport final. République de Guinée. Ministère des Travaux publics et des transports, Bureau d'étude et de planification. Disponible à l'adresse : <https://www.invest.gov.gn/document/plan-national-de-transports> [consulté le 11.05.2020].

STOKER, Gerry, 1998. Governance as theory: five propositions. *International Social Science Journal* [en ligne], 1998, vol. 50, n° 155, p. 17-28. DOI 10.1111/1468-2451.00106 [consulté le 11.05.2020].



Léopold LAMBERT

Élève ingénieur concours commun
Université de technologie de Tokyo, Japon

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
OPEO Startup Studio (OSS)

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Renan DEVILLIERES, CEO

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Aurélie DELEMARLE, directrice académique du département Génie industriel,
École des Ponts ParisTech



Pourquoi l'innovation de nos *start-up* peinent à pénétrer l'industrie de fabrication ?

Manufacture • Innovation • Startup Studio • Nouveaux modèles • Lean

Contexte

OSS est une entreprise qui développe des *start-up* proposant de nouvelles solutions logicielles pour les usines. Ces dernières années, l'industrie manufacturière n'a pas connu autant d'innovations digitales que d'autres industries, comme celles de la musique, du *retail* et du livre par exemple. La mission d'OSS est donc d'accompagner les usines françaises pour apporter le même niveau d'innovation digitale que dans les autres industries pour l'amener au prochain niveau.

Missions et objectifs

- *Sourcing* des partenaires ;
- accompagnement des entrepreneurs dans la création de leur entreprise ;
- mise en œuvre de POC technologiques dans les usines.

Résumé

D'un côté, le digital a envahi nos sociétés modernes, et de l'autre il peine toujours à investir réellement l'industrie de la manufacture. Alors que de nombreux nouveaux modèles ont émergé avec l'avènement du digital, les usines peinent à se réinventer et l'innovation des *start-up* à pénétrer véritablement le secteur. Alors que la France a subi les effets des délocalisations, le pays espère profiter de cette nouvelle vague pour franchir le virage de la robotisation et passer au 4.0 pour remodeler et insuffler un nouveau souffle dans son industrie de fabrication. Mais la vague de délocalisation d'usines n'a pas seulement endommagé le secteur manufacturier français, elle a également endommagé notre capacité d'innovation dans le secteur avec le départ de la production à l'étranger. Les étudiants, les investisseurs, les fonds de capital-risque et les entrepreneurs se sont désintéressés de ce secteur, et l'écosystème de *start-up* qui s'est développé dans le pays s'est majoritairement tourné vers les entreprises de services. Les *start-up* de services délaissent l'industrie manufacturière alors qu'elle représente 23% de l'emploi mondial. Où sont les licornes industrielles ? Les usines et les *start-up* ont énormément à offrir les unes aux autres : en développant de nouveaux modèles et en surfant sur la vague du digital, nous avons là l'opportunité de redynamiser durablement notre industrie manufacturière.

Why is start-up innovation still struggling to enter the manufacturing industry?

Manufacturing • Innovation • Startup Studio • New Models • Lean

Context

OSS is a company that develops startups offering new software solutions for factories. The manufacturing industry has not experienced as much digital innovation in recent years as other industries such as the music, retail and book industries for example. OSS mission is therefore to help French factories to achieve the same level of digital innovation as in other industries in order to bring them to the next level.

Missions and goals

- Partner sourcing;
- supporting entrepreneurs in the creation of their business;
- implementation of technological POCs in factories.

Abstract

On the one hand, digital has invaded our modern societies, and on the other it is still struggling to really invest in the manufacturing sector. While many new models have emerged with the advent of digital, factories are struggling to reinvent themselves as well as the innovation of startups to truly penetrate the sector. While France has suffered the effects of offshoring, the country hopes to take advantage of this new wave to overcome the shift to robotization and to move to 4.0 to reshape and reinvigorate its manufacturing industry. But the wave of factory relocation has not only damaged the French manufacturing sector, it has also damaged our capacity for innovation in the sector with the departure of production abroad. Students, investors, venture capital funds, entrepreneurs have lost interest in this sector, and the startup ecosystem that has developed in the country has mainly turned to service companies. Service startups are abandoning the manufacturing industry, which accounts for 23% of global employment. Where are the industrial unicorns? Factories and startups have a lot to offer each other, by developing new models and riding the digital wave, we have the opportunity to revitalize our manufacturing sector in the long term.

Éléments de bibliographie

- RIES, Eric, 2011. *The lean startup: how constant innovation creates radically successful businesses*. London : Portfolio Penguin, 336 p.
- LOCKE, Richard M. et WELLHAUSEN, Rachel L. (éd.), 2014. *Production in the innovation economy*. Cambridge : the MIT Press, 352 p.
- VALENTIN, Michaël, 2018. *Le modèle Tesla – Du toyotisme au teslisme : la disruption d'Elon Musk*. Malakoff : Dunod, 256 p.

- Amélioration continue & Lean management
- Continuous improvement & Lean management
- Data analytics
- Data science
- Entrepreneuriat
- Entrepreneurship
- Innovation et conception
- Innovation & Design
- Management de la production et des opérations
- Production and operations management
- Stratégie
- Strategy
- Supply chain management



Gaspard BRINGER

Élève ingénieur concours commun

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Valyans Consulting

Tutrice professionnelle • Organization Tutor :
Saadia BENNANI, PDG

Tuteur académique • Academic Tutor :
Pierre BERTRAND, responsable académique, département
Sciences économiques, gestion, finance, École des Ponts ParisTech



École des Ponts
ParisTech

Comment faire de l'agriculture marocaine un levier de développement économique et social ?

Agriculture • Valorisation • Maroc • Stratégie

Contexte

Le Maroc, au sein du continent africain, dispose d'atouts qui font de son fort potentiel agricole un levier possible de développement du pays d'un point de vue économique et social. Malgré la stratégie nationale agricole menée depuis plus de 10 ans, le secteur agricole peine encore aujourd'hui à constituer un moteur de croissance et de développement pour le royaume.

Missions et objectifs

Le but du travail de recherche entrepris est de comprendre pourquoi le Maroc ne parvient pas à faire de son secteur agricole un véritable levier de développement économique et social. Le projet vise à déceler des axes majeurs de transformation pertinents permettant d'atteindre cet objectif de façon durable et globale.

Résumé

Après une familiarisation avec le contexte agricole du Maroc, l'objectif est de déterminer s'il est possible d'implémenter une transformation socio-économique du pays basée sur l'agriculture et plus généralement l'agro-industrie. Le contexte permet de discerner des axes majeurs de transformation qui permettent d'encadrer les solutions éventuelles. Deux solutions sont ensuite envisagées, décortiquées puis voient leur pertinence respective évaluée.

La première, qui fait partie d'une stratégie nationale de développement de l'agriculture, a été l'activité principale de mon équipe lors du projet de fin d'études et consiste en la création d'agropoles (des technopoles régionales spécialisées en agroalimentaire).

La seconde solution amenée est le déploiement de technologies d'agriculture de précision à travers une politique de subventions et faisant appel à des investissements, avec notamment pour ambition d'élever socialement les petits agriculteurs et de rendre le secteur plus résistant au dérèglement climatique.



Critères de présélection des pistes d'opportunités pour l'agropole du Gharb © Gaspard Bringer, 2020.

How to make Moroccan agriculture a lever of development, both economic and social?

Agriculture • Development • Morocco • Strategy

Context

Morocco, within the African continent, has assets that make its agricultural potential a possible lever for the country's development from an economic and social point of view. Despite a national agricultural strategy called "Plan Maroc Vert" conducted for over 10 years, Morocco has not managed to fully achieve its objectives in the field of agriculture.

Missions and goals

The aim of the research led during the project was first to understand the issues that Moroccan agriculture has dealt with. Once these issues are highlighted, it is possible to understand how to develop the country economically and socially regarding the public policies implemented over the last decades. The project sheds light on the main transformation policies that need to be put in place to reach the initial goals.

Abstract

After becoming familiar with Morocco's agricultural context, the objective is to determine whether it is possible to implement a socio-economic transformation of the country based on agriculture, and more generally the agro-industry. The context makes it possible to discern major axes of transformation that allow the framing of solutions. Two solutions are then considered, dissected and their respective relevance assessed.

The first, which is part of a national strategy for agricultural development, was the main activity of my team during the final year project and consists of the creation of agropoles (regional technopoles specializing in agri-food).

The second solution is the deployment of precision farming technologies through a policy of subsidies and investment, with the aim of socially elevating small farmers and making the sector more resistant to climate change.

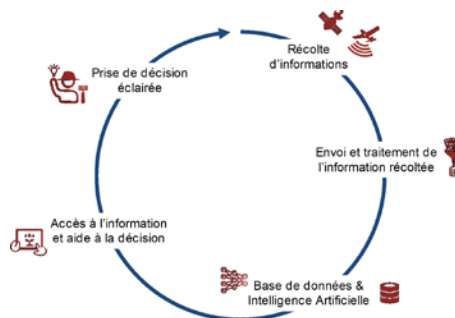


Schéma simplifié du principe de fonctionnement d'un système d'agriculture de précision © Gaspard Bringer, 2020.

- Amélioration continue & Lean management
- Continuous improvement & Lean management
- Data analytics
- Data science
- Entrepreneuriat
- Entrepreneurship
- Innovation et conception
- Innovation & Design
- Management de la production et des opérations
- Production and operations management
- **Stratégie**
- **Strategy**
- Supply chain management



Adrien DECOTTIGNIES-DIENNE

Élève ingénieur concours commun
School of Architecture and the Built Environment, Institut royal
de technologie (KTH), Stockholm, Suède

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Eiffage Concessions

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Jacques-Nicolas OJEA, directeur du développement France, activité Bâtiment

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Thomas CUINGNET, enseignant, École des Ponts ParisTech



Délégation de service public

Développer un projet en réponse à un appel d'offres

Port • Développement • Délégation de service public • Appel d'offres • Chef de projet

Contexte

Mes motivations pour rejoindre Eiffage Concessions étaient nombreuses. Parmi elles, l'envie de vivre de l'intérieur la manière dont un grand groupe appréhende les réponses à des marchés publics et en particulier à des appels d'offres de concessions. Je souhaitais également découvrir et apprendre sur cette activité de niche passionnante et stimulante qui demande une maîtrise de trois volets fondamentaux : le technique, le financier et le juridique.

Ce fut chose faite en travaillant sur un projet de développement urbain mixte autour d'un grand port de plaisance français. Le tout, à un moment où ces ports de plaisance arrivent dans une phase de renouvellement charnière de leurs modèles : pour beaucoup construits dans les années 1970 sur des modèles datés, ils arrivent aujourd'hui en fin de contrats à reconduire et à réinventer.

Missions et objectifs

- Apprendre le métier de développeur, positionné comme un véritable chef de projet en acquérant très rapidement une forte autonomie en l'espace de quelques semaines ;
- appréhender un secteur d'activité de niche du service public français : celui des ports de plaisance ;
- piloter la remise de candidature et d'offre pour la concession du port de la commune de Villeneuve-Loubet : Marina Baie des Anges. Ce projet, sur sept groupements initiaux, est aujourd'hui lauréat de l'appel d'offres.

Résumé

Durant six mois, j'ai piloté la remise de candidature et d'offre pour la concession du mythique port de plaisance de la commune de Villeneuve-Loubet : Marina Baie des Anges.

Remettre une offre sur un port de plaisance comprenant à la fois d'importants travaux maritimes et des investissements en bâtiments et voiries conséquents était une première pour Eiffage Concessions. En sa qualité de constructeur, Eiffage assure une activité industrielle de travaux maritimes. Les nombreux ports français arrivant en fin de concession pour la prochaine décennie présentent donc une véritable opportunité pour accompagner l'activité maritime du groupe et ancrer son action dans les territoires, volonté de son PDG.

Mon rapport compte capitaliser sur cette expérience. D'abord en présentant le cheminement du développement mené en tant que chef de projet pour remettre une offre de qualité, ensuite en questionnant le modèle de la concession pour la gestion d'un port de plaisance. Ce travail propose ainsi des pistes de réflexions et bonnes pratiques devant permettre aux développeurs de projets de mener leurs réponses à appels d'offres publics avec toujours plus de pertinence.



Coeur Marina © Eiffage Concessions, 2019 (avec leur permission).

Public Service Delegation

To develop and answer a call for tender

Port • Public Service Delegation • Tendering Process •
Project Management • PFI

Context

I accomplished my final year project at Eiffage Concessions where I was confronted with a great first for this company: to hand a tender on a marina, including both important marine works and substantial needs for building/landscaping works. Eiffage – as manufacturer – ensures an activity of marine works. The numerous French marinas arriving at the end of their concession for the next decade present a real opportunity to develop the marine activity of the firm and to anchor its presence in these territories, which is the wish of its CEO. With the coming end of motorway concessions, the need to diversify the firm's activities is met with this new sector.

Missions and goals

Over a six-month period, I experienced a double opportunity: to learn about Project Development – by acting as a Project Leader –, and to discover the French marina sector. Basically, I managed the tendering process for the marina concession of Villeneuve-Loubet: "Marina Baie des Anges".

Abstract

I managed the tendering process for the marina concession of Villeneuve-Loubet, "Marina Baie des Anges", for six months.

I arrived on the 8th of March for the kick-off meeting, our proposal was delivered on the 11th of June and I continued working on it until the 15th of August. In this report, my aim is to capitalize on the fast tendering process I managed. On the one hand, the development work achieved as a project leader is presented. On the other hand, the contract models to manage marinas in the coming decades is put in question. This work thus proposes avenues for reflection and best practices to enable project developers to conduct their responses to public calls for tenders with ever greater relevance.

Amélioration
continue & Lean
management
Continuous
improvement & Lean
management

Data analytics

Data science

Entrepreneuriat
Entrepreneurship

Innovation et
conception
Innovation & Design

Management de la
production et des
opérations
Production and
operations
management

Stratégie
Strategy

Supply chain
management



Le quai d'honneur © Eiffage Concessions, 2019 (avec leur permission).



Alejandra MEJIA GOMEZ

Élève ingénieure double diplôme
Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombie

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Eiffage Concessions

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Louis LHERMITTE, Project Finance Officer

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pierre BERTRAND, responsable académique, département Sciences économiques,
gestion, finance, École des Ponts ParisTech



Financement de la transition écologique

Quelle place pour les infrastructures ?

Finance verte • Financement de projet • Infrastructures •
Développement durable • Structuration des financements

Contexte

La finance verte est un domaine qui a pris beaucoup d'ampleur ces dernières années, en raison de l'intérêt croissant de la population pour les questions de développement durable et de l'encouragement des initiatives gouvernementales telles que les accords de Paris de 2015. Un grand nombre d'acteurs se sont engagés à la cause et cela a permis un rythme de développement qui, bien qu'accélééré, n'est pas encore suffisant pour maintenir un objectif limite de 2°C.

Missions et objectifs

L'objectif de ce projet de fin d'études était d'étudier la place des infrastructures dans le monde de la finance verte. Cette dernière connaît un fort développement qui permet aux entreprises et entités publiques de se rapprocher de leurs objectifs écologiques via l'émission d'obligations vertes et autres outils financiers. Néanmoins, l'utilisation de ce type d'outils financiers dans le financement de projet reste limitée, notamment car ceux-ci nécessitent encore des adaptations.

Résumé

Ce mémoire vise à étudier le financement de projets d'infrastructure sous différents angles du développement durable. En premier lieu, il explique divers éléments d'aide au financement de projets dans le domaine des énergies renouvelables : comment des éléments tels que les assurances et les mécanismes gouvernementaux peuvent être d'une importance vitale pour la survie du projet ? Deuxièmement, il vise à étudier la naissance et l'évolution

de la finance verte, en expliquant différents instruments financiers, son utilisation pour financer des infrastructures et son potentiel pour répondre à une série de besoins d'investissement. L'objectif était également d'essayer d'identifier certaines motivations des acteurs à s'engager dans cette tendance.

Ensuite, par la comparaison des visions historiques et actuelles des différents acteurs du marché (banques, investisseurs et industriels), ce travail vise à expliquer pourquoi l'utilisation des outils de la finance verte n'est pas encore « mainstream » dans le monde des infrastructures. Par ailleurs, ce travail propose une voie d'évolution qui permettrait une utilisation plus large de ces outils. Enfin, deux cas réels sont étudiés, dans lesquels l'importance des outils d'aide pour le financement est mise en lumière.



Schéma d'un *green bond* © Alejandra MEJIA GOMEZ, 2019.
Pictogrammes : Andrejs Kirma, IcongEEK26, Iconsider studio, Creative Stall, 2019, CC-BY 3.0 (source : thenounproject.com).

Financing the environmental transition

What role for infrastructure?

Green Finance • Project Finance • Infrastructure • Sustainable Development • Structured Finance

Context

Green Finance is a field that has gained a lot of momentum in recent years, this is due to the growing interest of the population in sustainable development issues and the encouragement of government initiatives such as the Paris Agreements of 2015. A large number of actors have committed themselves to the cause and this has allowed for a pace of development, which has accelerated, though not enough to maintain a target limit of 2°C.

Missions and goals

Study the place of infrastructure in the world of green finance. The latter is experiencing strong growth, enabling companies and public entities to come closer to their environmental objectives through the issuance of green bonds and other financial instruments. Nevertheless, the use of this type of financial mechanism in project finance remains limited, particularly as it still needs to be adapted.

Abstract

The purpose of this report is to study the financing of infrastructure projects from different sustainable development perspectives. Firstly, it explains different elements of support for the financing of renewable energy projects, how elements such as

insurance and government mechanisms can be of vital importance for the survival of the project. Secondly, it aims to study the origin and evolution of Green Finance, explaining different financial instruments, how it has been used to finance infrastructure and how it can meet a range of investment needs. It also tries to identify some of the motivations of actors to engage in this trend.

Then, by contrasting the historical and current visions of the different market players (banks, investors and industrials), it aims to explain why the use of Green Finance tools is not yet mainstream in the world of infrastructure, also aiming to provide a path for future developments that will allow a wider use of these tools. Finally, two real-life cases are studied in which the importance of financing support tools is highlighted.



Objectifs de développement durable © Nations Unies, 2015
(source : <https://news.un.org/en/story/2015/12/519172-sustainable-development-goals-kick-start-new-year>).

- Amélioration continue & Lean management
- Continuous improvement & Lean management
- Data analytics
- Data science
- Entrepreneuriat
- Entrepreneurship
- Innovation et conception
- Innovation & Design
- Management de la production et des opérations
- Production and operations management
- Stratégie
- Strategy
- Supply chain management

Éléments de bibliographie

WOETZEL, Jonathan, GAREMO, Nicklas, MISCHKE, Jan, HJERPE, Martin et PALTER, Robert, 2016. *Bridging global infrastructure gaps* [en ligne]. McKinsey Global Institute. Disponible à l'adresse : <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/bridging-global-infrastructure-gaps>.

BÉNABOU, Roland et TIROLE, Jean, 2010. Individual and Corporate Social Responsibility. In : *Economica*. 2010. Vol. 77, n° 305, p. 1-19. DOI 10.1111/j.1468-0335.2009.00843.x.

LARCKER, David F. et WATTS, Edward M., 2019. ID 3333847 : *Where's the Greenium?* [en ligne]. SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY. Social Science Research Network. [Consulté le 19 février 2020]. Disponible à l'adresse : <https://papers.ssrn.com/abstract=3333847>.



Marion BEKHOUCHE

Élève ingénieure concours commun

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à :
Louis Vuitton Americas

Tutrice professionnelle • *Organization Tutor* :
Bénédictte LASSALLE, Supply chain Director LG & ACC

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Michel NAKHLA, enseignant, École des Ponts ParisTech



Comment gérer la transition du réseau Louis Vuitton Americas vers un modèle omnicanal ?

Omnicanal • Supply Chain • Optimisation • One Retail

Contexte

Louis Vuitton est en ce moment en pleine transition entre un modèle multicanal et un modèle omnicanal.

Alors que dans un réseau multicanal, chaque infrastructure Louis Vuitton (magasins, entrepôts régionaux, centraux) n'a accès qu'à son propre stock, l'omnicanal permet de centraliser l'information et de faciliter les échanges. Un tel modèle permet d'accroître la flexibilité de Louis Vuitton et soulève de nouveaux axes d'amélioration pour la marque, en termes de satisfaction client et de réduction des coûts.

Missions et objectifs

Ma mission consistait dans un premier temps à intégrer les 70-80 magasins restants en Amérique au projet *One Retail* (à travers les différents systèmes d'information notamment), et à m'assurer du bon fonctionnement du réseau de distribution dans cette période de transition. Pour cela, j'étais chargée de mener différentes analyses avec les données déjà récoltées par Louis Vuitton et de mettre à jour ainsi que de développer de nouveaux KPIs (indicateurs) pour évaluer les performances du réseau.

Résumé

Mon projet se décompose principalement en deux axes : l'implémentation « pure et dure » du nouveau Pos (*point of sales*) dans tout Louis Vuitton America (Canada, États-Unis, Hawaï, Mexique, Saint-Barthelemy, Amérique du Sud, etc.) et la gestion du changement au sein de l'équipe *Supply chain*, mais également *Retail* et *Merchandising*. Enfin, le développement de KPIs tout au long de ma mission pour gérer l'avancée du projet a permis de mettre en avant les opportunités liées à ce nouveau modèle stratégique et aux leviers pour améliorer l'expérience client mais aussi réduire les coûts et l'impact environnemental.

Lors de cette première partie, j'ai travaillé dans une équipe pluridépartementale réunissant des personnes de la finance de l'IS, de la logistique mais également du retail. Il s'agissait de paramétrer au mieux le nouveau Pos, de façon à répondre au mieux aux impératifs et aux besoins de chacun.

La gestion du changement a également été essentielle, car toutes les équipes (*Supply Chain*, *Merchandising*, *Logistique*, *Retail*) avaient dans pour habitude d'utiliser l'ancien système depuis déjà une dizaine d'années, et ne saisissaient pas tous les changements ni toutes les opportunités qui en découlaient.

Bien évidemment, nous nous sommes également heurtés à certaines limites, notamment dues à la souplesse du logiciel, qui, au fur et à mesure de l'avancée du projet, révélait ses failles.

Enfin, le développement de KPIs et de nouveaux outils à l'adresse des différentes équipes a principalement gravité autour du sujet des livraisons à domicile et de la gestion des commandes.

Management of a seamless transition to an omnichannel strategy

Omnichannel • Supply Chain • retail • Project • Client experience

Context

Louis Vuitton is currently switching from a multi-channel model to an omnichannel one. The adoption of this new strategy is called the « One Retail » project.

While in a multichannel network, every single infrastructure only has access to its own inventory, the omnichannel enables the stock information to be centralised and makes it easier to share the product within the network. Such an organization will allow Louis Vuitton to be more agile, and offers a lot of opportunities in terms of client experience, cost reduction and environmental compliance.

Missions and goals

To make it happen, to enable all of those infrastructures (DCs, permanent stores, e-commerce, etc) to become only one, the adoption of a new Point of Sales is necessary, as well as a new software called « Order Broker », that will manage the stock allocation within the network.

My mission at Louis Vuitton for six months was a hundred percent focused on One Retail. How to enable a smooth roll out of those new systems and tools in all Louis Vuitton Americas, with a large part focused on the change management, and how to seize the leverage it brings to the business.

Abstract

My project has two main parts: a more operational one, where I had to manage the smooth roll out of the new POs accross all America. That includes of course making sure that everything is well set up on an IS perspective and that it answers the requirements and needs of the business (legal, finance, retail, etc), but it is also managing the change through all the different teams (retail, supply chain, logistics, merchandising, etc) and making the change seamless. To do so, it was necessary to build and develop new tools, in order to make the new omnichannel processes easier to understand and use.

The second part is optimization-oriented: going forward, now that the new system is in place, what are the new leverages and what are all of the opportunities linked to this new system, how to improve the client experience, the cost, and the environmental impact.

Most of the work was done on home delivery and orders, because it is where most of processes have changed. Before One Retail, clients were only able to get products from the brick and mortar stores, or on the website. Whereas now, the client can walk into a store and ask for a product to be delivered at their house directly, or send to another store, or can order products that are currently unavailable. A big change!

- Amélioration continue & Lean management
- Continuous improvement & Lean management
- Data analytics
- Data science
- Entrepreneuriat
- Entrepreneurship
- Innovation et conception
- Innovation & Design
- Management de la production et des opérations
- Production and operations management
- Stratégie
- Strategy

Supply chain management



Mathis GARREC

Élève ingénieur concours commun
Parcours Optimisation supply chain

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Diagma

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Bruno HERARD, Senior Manager

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Patrick RIGOT-MULLER, enseignant, Maynooth University School of Business



Introduire la gestion des risques dans la construction d'un design *supply chain*

Supply chain • Risque • Efficacité • Résilience • Design

Contexte

La résilience d'une chaîne logistique est un thème d'importance trop souvent négligé en comparaison avec l'efficacité. Au travers d'une mission de conseil visant à designer la future chaîne logistique d'un grand groupe du luxe, j'ai pu imaginer et mettre en œuvre une méthode prenant en compte la résilience afin de compléter les analyses d'efficacité des scénarios envisagés.

Missions et objectifs

L'objectif de ce projet est de proposer une méthodologie de *supply chain design* qui inclut l'analyse des risques comme outil d'aide à la décision pour les analyses d'efficacité. Basée sur les travaux de Tummala et Schoenherr, la méthode AMDEC et la théorie du design de chaînes logistiques, ce projet construit une approche structurée permettant aux managers d'identifier le meilleur scénario logistique pour leur système, sur la base d'analyses de l'efficacité et de la résilience.

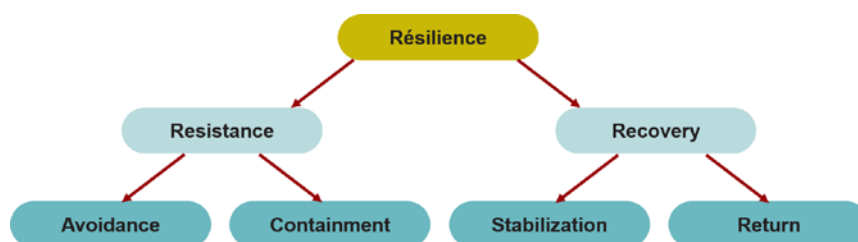
Résumé

Après une première partie très théorique, puis l'analyse des particularités du cas étudié et du process du système en question, j'ai construit plusieurs chaînes logistiques

cibles différentes pour mon client, en détaillant leur efficacité et leur résilience. Les calculs d'efficacité, basés sur l'analyse des données du client, ont notamment été complétés par l'analyse qualitative des risques et de la stratégie du groupe. Fort de cette étude, j'ai pu lui conseiller une stratégie adaptée et efficace et lui faire prendre conscience des enjeux auxquels il aurait à faire face à moyen terme.

D'un point de vue scientifique, la méthodologie de réflexion adoptée combine plusieurs façons de faire qui ont déjà été éprouvées : les études d'efficacité basées sur l'analyse quantitative des données et la création de modèles, ainsi que la méthode SCRMP simplifiée pour juger de la résilience des systèmes cibles. L'intégration d'une analyse de la résilience et des notions de gestion des risques à l'étude permet d'en consolider le résultat en cadrant le travail réalisé grâce à une structure commune aux différents scénarii.

Ce projet de fin d'études s'inscrit donc à sa manière dans la réflexion très prolifique autour de l'intégration des questions de gestion des crises et de résilience dans la construction des réseaux logistiques, en proposant un exemple d'application d'une méthode de design de *supply chain* mixte tenant compte à la fois de l'efficacité et de la résilience du réseau cible.



Tree of supply chain resilience © Mathis Garrec, 2019.

Using risk management processes to help design a supply chain

Supply chain • Risk • Efficacy • Resilience • Design

Context

While supply chain risk management is such an important and underestimated topic compared to efficiency, there are risk management processes that offer a structural approach to help analyze the risks of a system (Tummala and Schoenherr, 2011). This project presents a method which helps anticipate the risks of a to-be design, in order to add a resilience point of view to an efficiency analysis, and help the decision maker.

Missions and goals

The purpose of this project is to propose a methodology of supply chain design in which risk management is a decision helping tool for efficiency analysis. Building on Tummala et Schoenherr's Risk Management Process (RMP), the AMDEC method and the supply chain design theory, this paper develops a structured approach for managers to identify the best scenario for their supply chain, according to efficiency and resilience analysis.

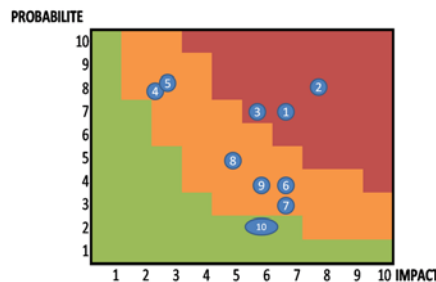
Abstract

After a very theoretical approach to the problem and the analysis of the specificities of the business case and of the system, I have built a few different supply chains that could solve my client's problem. For each of them, I have analyzed their efficacy and their resilience. The efficacy analyses, based on data crunching, were also completed by qualitative analysis of the risk and of the glo-

bal strategy of the firm. I have used this protocol to advise my client and help him choose the right strategy knowing what was at stake and what the challenges of the next years would be.

From a scientific point of view, the protocol combines different scientific approaches already known for their good results. The efficacy analyses are based on non-biased data crunching, and the risk analysis needed to evaluate the resilience of the system follows the SCRMP simplified methodology. The use of risk analysis helps to build stronger and longer lasting scenarios. It also allows us to compare the different possibilities in a rational manner.

This final year project is part of the very prolific theme of risk management in supply chain design by establishing a concrete protocol in which efficacy analysis and resilience evaluation are combined to help supply chain managers decide what's best for their system.



Risk analysis a supply chain design © Mathis Garrec, 2019.

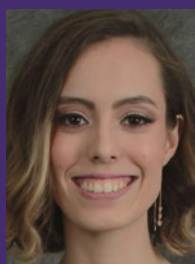
- Amélioration continue & Lean management
- Continuous improvement & Lean management
- Data analytics
- Data science
- Entrepreneuriat
- Entrepreneurship
- Innovation et conception
- Innovation & Design
- Management de la production et des opérations
- Production and operations management
- Stratégie
- Strategy
- Supply chain management

Éléments de bibliographie

TUMMALA, Rao et SCHOENHERR, Tobias, 2011. Assessing and managing risks using the Supply Chain Risk Management Process (SCRMP). *Supply Chain Management: An International Journal* [en ligne], 2011ol. 16, n° 6, pp. 474-483. [Consulté le 17 mars 2020]. DOI 10.1108/13598541111171165.

SHEFFI, Yossi et RICE, James B., 2005. A Supply Chain View of the Resilient Enterprise. *MIT Sloan Management Review*, 2005, vol. 47, n°1, pp. 41-48.

CHOPRA, Sunil, 2003. Designing the distribution network in a supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* [en ligne], 2003, vol. 39, n° 2, pp. 123-140. DOI 10.1016/S1366-5545(02)00044-3



Mariana JUSTO PEREIRA

Élève ingénieure double diplôme
Université de São Paulo, Brésil
Parcours Supply chain

Promotion 2018

Mission en entreprise réalisée à
Metis Consulting

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Mourad AMAROUCHE, Senior Manager

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Philippe WIESER, enseignant, École des Ponts ParisTech



Comment faire de la *supply chain* un levier stratégique de compétitivité ?

Supply chain • Supply chain planning • Logistique • Compétitivité

Contexte

Après avoir fait un stage long dans la *supply chain* d'une multinationale de l'agroalimentaire, j'ai eu l'occasion d'effectuer mon projet de fin d'études chez Metis Consulting. Ce mémoire rend compte des trois missions d'amélioration de la *supply chain* auxquelles j'ai participé, ainsi que des réflexions qui m'ont permis d'appréhender de nouveaux aspects de la *supply chain* en tant que levier stratégique de compétitivité.

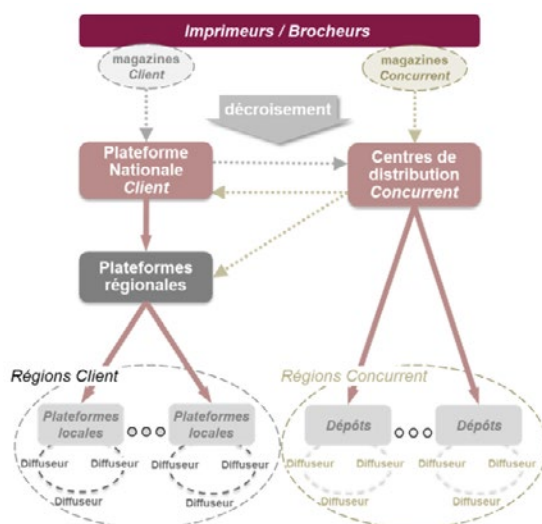
Missions et objectifs

Comment faire de la *supply chain* un levier stratégique de compétitivité ? Pour y répondre, trois dimensions seront envisagées dans ce mémoire. Premièrement, la possibilité d'augmenter les marges sera étudiée. Dans un deuxième temps, il sera montré qu'un réseau de distribution optimisé permet de s'adapter aux changements de marché. Enfin, nous étudierons la possibilité d'améliorer la performance opérationnelle.

Résumé

Dans un contexte économique concurrentiel et mondialisé, la gestion des flux physiques, d'information, de services et financiers qui relie les fournisseurs au client final constitue un enjeu stratégique majeur pour les entreprises, l'ensemble de cette chaîne étant nommé « *supply chain* ». Au cours des dernières années, l'emploi des chaînes d'approvisionnement comme des armes concurrentielles est devenu un élément central de la gestion stratégique de plusieurs entreprises. En effet, une chaîne d'approvisionnement affinée peut améliorer les performances opérationnelles et l'expérience client, augmenter les marges et aider les équipes de direction à s'adapter à l'évolution des marchés et aux demandes des clients. Ce mémoire rend compte des trois missions caractéristiques d'amélioration de la *supply chain* auxquelles j'ai pu participer lors de mon projet de fin d'études chez Metis

Consulting, ainsi que des réflexions qui m'ont permis d'appréhender de nouveaux aspects de la *supply chain* en tant que levier stratégique de compétitivité. La première partie du mémoire est consacrée au métier de consultant et à une présentation du cabinet Metis Consulting. Ensuite, je présente les trois missions, ainsi que le contexte, l'objectif, la démarche et les résultats : une mission d'optimisation de la gestion d'offres et de la demande dans le *retail* automobile ; une mission de réduction des coûts logistiques dans le secteur de distribution de la presse ; une mission d'organisation d'un site mécanisé dans la livraison *e-commerce*. À la lumière de ces trois expériences, la dernière partie de ce mémoire est dédiée à une analyse critique de ces missions.



Flux de diffusion des publications lors de la mission de réduction des coûts logistiques dans le secteur de distribution de la presse au numéro © Mariana Justo Pereira, 2018.

How to turn the supply chain into a strategic lever of competitiveness?

Supply chain • Supply chain planning • Logistics • Competitiveness

Context

After completing a long internship in the supply chain department of a multinational agribusiness company, I had the opportunity to do my final year project at Metis Consulting. This master thesis reports on the three supply chain improvement projects I was able to participate in, as well as on reflections that allowed me to understand new aspects of the supply chain as a strategic lever of competitiveness.

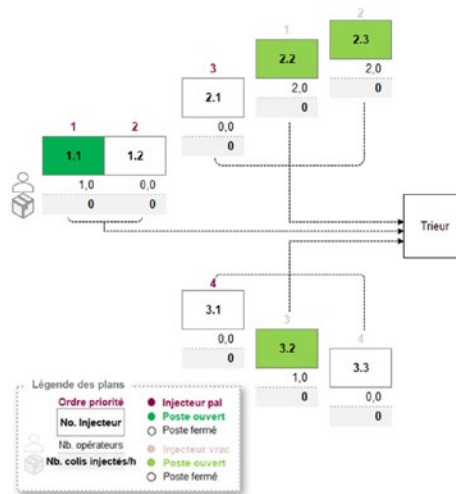
Missions and goals

How to turn the supply chain into a strategic lever of competitiveness? To answer this question, three dimensions were considered in this report. First, the possibility of increasing margins was studied. Secondly, it was shown that an optimized distribution network can allow companies to adapt to market changes. Finally, we explored the possibility of improving operational performance.

Abstract

In a competitive and globalized economic context, managing the flow of materials, information, payments, and services connecting suppliers to the end customer is a major strategic challenge for companies, this entire network being referred to as "supply chain". In recent years, the use of supply chains as competitive weapons has become a central element of the strategic management of several companies. In fact, a fine-tuned supply chain can improve operational performance and customer experience, increase margins, and help leadership teams adapt to changing markets and customer demands. This study reports on the three supply chain improvement projects I

was able to participate in during my final year project at Metis Consulting, as well as on reflections that allowed me to understand new aspects of the supply chain as a strategic lever of competitiveness. The first part of this document is devoted to the consulting profession and a presentation of Metis Consulting. Then, the three missions, as well as their context, objective, approach, and results are presented: a mission to optimise the management of supply and demand in the automotive retail sector; a mission to reduce logistics costs in the press distribution sector; a mission to organise a mechanised site for e-commerce delivery. In light of these three experiences, the last part of this project will be dedicated to a critical analysis of these three missions.



Plan des lignes d'injection lors de la mission d'organisation d'un site mécanisé dans la livraison e-commerce © Mariana Justo Pereira, 2018.

- Amélioration continue & Lean management
- Continuous Improvement & Lean management
- Data analytics
- Data science
- Entrepreneuriat
- Entrepreneurship
- Innovation et conception
- Innovation & Design
- Management de la production et des opérations
- Production and operations management
- Stratégie
- Strategy
- Supply chain management

Éléments de bibliographie

DONNELLY, Keith, SHEHORN, Meghan et BANERJEE, Debjit, 2017. Turn Your Supply Chain into a Competitive Weapon : Four myths keep you from getting the most out of your supply chain. *Bain & Company* [en ligne]. Publié le 17 décembre 2017. Disponible sur : <https://www.bain.com/insights/turn-your-supply-chain-into-a-competitive-weapon> [consulté le 15 avril 2020].

HULT, G. Tomas M., KETCHEN, David J. et ARRFELT, Mathias, 2007. Strategic supply chain management: Improving performance through a culture of competitiveness and knowledge development. *Strategic Management Journal* [en ligne], 2007, vol. 28, n° 10, pp. 1035-1052. DOI 10.1002/smj.627 [consulté le 15 avril 2020].

Génie mécanique et matériaux

Mechanical Engineering and Materials Science

Le département GMM forme des ingénieurs de recherche ou ingénieurs-concepteurs pour le développement de nouveaux produits et matériaux, dans tous les domaines de l'industrie. La formation apporte un socle théorique pointu et met un accent particulier sur la mise en œuvre concrète de ces outils à travers des projets de modélisation, conception et fabrication (impression 3D, prototypage rapide...).

La structure des programmes

Le département Génie mécanique et matériaux propose des cours obligatoires, des semaines thématiques, et des cours électifs.

Les cours obligatoires se répartissent en trois familles :

- des cours de tronc commun (initiation au droit, à la gestion, langues...) dont le but est de donner les bases essentielles à un ingénieur d'aujourd'hui ;
- des cours GMM : L'accent est mis sur la modélisation et les grands domaines de la mécanique (fluides, structures et matériaux) ainsi que sur la conception de systèmes incluant la robotique ;
- des semaines thématiques sont organisées. Elles font intervenir des experts, des professionnels et des chercheurs dans les domaines des matériaux, de la R&D et de la conception. Un voyage et des visites d'entreprises sont également organisés.

Un choix de cours électifs, offerts par le département GMM ou par d'autres départements, permet de personnaliser le projet de formation en fonction du projet professionnel de l'élève.

Les programmes

- Cycle master en 2 ans;
- Formation complémentaire intégrée pour polytechniciens et normaliens civils;
- Formation complémentaire intégrée des élèves du corps. Les corpsards suivent les mêmes parcours que les polytechniciens ou normaliens civils, adaptés pour tenir compte des obligations spécifiques du corps.

Différentes possibilités offertes en troisième année

- Expertise en mécanique ;
- Durabilité des Matériaux et des structures ;
- Approches multi-échelles des matériaux et des structures ;
- Science des matériaux pour la construction durable (enseigné en anglais) ;
- Nuclear Energy, spécialité démantèlement et gestion des déchets (enseigné en anglais) ;
- troisième année dans une école partenaire en France ou à l'étranger.

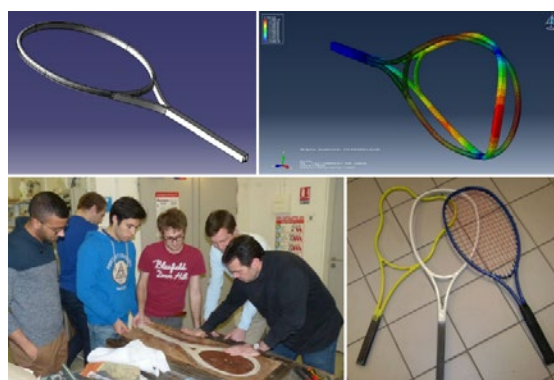
Les points forts de la formation

- Une solide maîtrise des concepts et outils de la mécanique des milieux continus en grandes transformations ;
- une approche pédagogique par projet privilégiant le travail en équipe et l'apprentissage par l'action ;
- un contact étroit avec les ingénieurs dans l'industrie et avec la recherche ;
- l'intégration de nouveaux outils pour la conception (prototypage rapide) ;
- une orientation Écoconception.

Carrières professionnelles

La formation prépare à des postes à haut potentiel et forte compétence scientifique et technique pour l'industrie et le secteur étatique dans les domaines de la recherche, du développement et de la conception de nouveaux produits et matériaux :

- ingénieur de recherche ou ingénieur concepteur : cette formation permet d'accéder à un premier poste d'ingénieur chercheur ou d'ingénieur concepteur en mécanique. Elle donne les bases pour une conception éco-orientée et souligne les responsabilités des ingénieurs concepteurs vis-à-vis des problématiques de développement durable.
- cadres dirigeants : cette formation donne la culture pour des évolutions rapides de carrière afin de devenir chef de grands projets ou responsable de programmes industriels, comme par exemple responsable de la conception d'un nouveau véhicule chez un grand constructeur automobile ou responsable de la mise au point d'un nouveau matériau dans une grande industrie mondiale du secteur. Cela doit conduire ensuite à des carrières d'experts internationaux ou de cadres dirigeants de ces entreprises.



Semaine conception GMM - Thème raquettes © Frédéric Tayeb - École des Ponts ParisTech.



Alain Ehlacher
Président
Department Head



Laurent Maghdissian
Responsable
académique
Academic Head



Sandrine Calvary
Inspectrice des études
Academic Advisor



Josiane Niéto
Assistante polyvalente
Department Assistant

The GMM Department trains future research and design engineers in the development of new products and materials in all industry sectors. The training provides an advanced theoretical base, and emphasis is on the practical implementation of these tools through modelling, design and manufacturing projects (3D Printing, prototyping, etc.).

Programs

The programs taught in the Mechanical Engineering and Materials Science Department include compulsory courses, thematic weeks, and elective courses.

The compulsory courses are divided into three groups:

- core curriculum courses (e.g. introduction to law, management, languages...) which aim to provide the fundamentals required for today's engineers;
- department courses: The emphasis is placed on modelling and the fields of mechanical engineering (fluids, structures, materials) together with Eco-design and industrial system design and robotics in particular;
- thematic weeks are organized with contributions from experts, professionals, and researchers in the fields of materials, R&D, and design. A study trip and visits to companies are also organized.

A choice of elective courses delivered by the Mechanical Engineering and Materials Science Department and other Departments allows students to tailor their study program to career objectives.

The programs

- Two-year Master's program;
- special program for *École polytechnique* and *Ecole normale supérieure* students;
- special program for French Government Engineers, adapted to take into account their specific obligations.

Different possibilities offered in the final year:

- Advanced Mechanics courses;
- Durability of Materials and Structures for Energy;
- Multiscale Approaches for Materials and Structures;
- Materials Science for Sustainable Construction (taught in English);
- Nuclear Energy, specialization in decommissioning and waste management (MNE-DWM, taught in English);
- final year in a partner institution in France or abroad.

Highlights of the program

- Solid mastery of tools and concepts in Continuum Mechanics;
- team projects for active learning;
- close interaction with industry engineers and researchers;
- use of numerical tools for design (prototyping);
- eco-design orientation.

Career opportunities

This program prepares students for high-level positions in industry and the state sector, requiring strong scientific and technical know-how in research, development, and design of new products and materials:

- Research or design engineer: it allows students to access to a first position as a research or design engineer in mechanical engineering. It provides the basis for eco-focused design and underlines the responsibilities of design engineers with regard to sustainable development issues.
- Senior executives: this program provides a springboard for fast track promotion towards positions heading major projects or industrial programs, such as the design of a new vehicle at one of the big car manufacturers or the development of a new material in a major global industry in the sector. This in turn will lead to a career as an international expert or senior executive in these industries.



Robot 6 axes © Yann Piriou - École des Ponts ParisTech.

Laboratoires partenaires et chaires

Research partnerships and chairs

Laboratoires • Laboratories



CERMICS

Centre d'Enseignement et de Recherche en Mathématiques et Calcul Scientifique. Thématiques : mathématiques appliquées, calcul scientifique, modélisation, optimisation.

Research Center in Mathematics and Scientific Computing. Themes: applied mathematics, scientific computing, modeling, optimization.



IFSTTAR

Institut français des Sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux.
The French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks.



Institut Jean Le Rond d'Alembert, université Pierre et Marie Curie

Mécanique, acoustique, énergétique.
Mechanics, Acoustics, Energy.



LadHyX, École polytechnique

Laboratoire d'hydrodynamique.
Hydrodynamics Laboratory.



LHSV

Laboratoire d'hydraulique Saint-Venant. Thématiques : mécanique des fluides appliquée à l'hydraulique et l'environnement (domaines fluvial, côtier et portuaire).

Saint-Venant Hydraulics Laboratory. Themes: fluid mechanics applied to hydraulics and the environment (rivers, coasts, and harbors).



LIGM

Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge. Thématiques : algorithmes et architectures pour l'analyse et la synthèse d'images ; combinatoire algébrique et calcul symbolique ; logiciels, réseaux et temps réel ; modèles et algorithmes ; signal et communication.

Gaspard Monge Computer Science Laboratory. Themes: algorithms and architectures for image analysis and synthesis; algebraic combinatorics and symbolic computation; software, networks and real time; models and algorithms; signal and communication.



LMS, École polytechnique

Laboratoire de mécanique des solides.
Solid Mechanics Laboratory.



Laboratoire Navier

Thématiques : recherches de base sur la mécanique et la physique des matériaux et des structures et leurs applications à la géotechnique, au génie civil, à la géophysique et à l'exploitation pétrolière.

Themes: basic research on the mechanics and physics of materials and structures, and their applications to geotechnics, civil engineering, geophysics, and the oil industry.

Chaires • Chairs

Chaire EDF

La chaire EDF vise à former des ingénieurs spécialistes dans le domaine stratégique nucléaire à travers un master « Durabilité des matériaux et des structures dans l'énergie » et un master « Énergie nucléaire, spécialité démantèlement et gestion des déchets ».

The EDF Group Chair was created to educate engineers specialized in the strategic domain of nuclear energy through two-Master Degree Programs "Durability of Materials and Structures for Energy" and "Nuclear Energy, specialization in decommissioning and waste management".

Les projets de fin d'études

Final Year Projects

Calcul de structure / éléments finis •

Finite element modelling

CARON RICHARD | Découplage des paramètres physiques d'un pneu, influençant le bruit intérieur de véhicules
Decoupling of physical parameters of a tire, impacting the interior noise

CAUVIN XAVIER | Dimensionnement mécanique de cartes électroniques
Mechanical calculations on electronic chips

Conception / prototypage •

Design / prototyping

APARICIO JONAS | Étude de faisabilité d'un ballon captif pouvant résister à une tempête
Design of a tethered balloon which can survive a storm

SIMONNOT OLIVIER | Conception mécanique d'un système de maintenance d'éoliennes en mer
Mechanical design of an offshore wind turbine maintenance system

Interaction fluide-structure •

Fluid-structure interaction

LOUYOT MAX | Analyse modale de disques en rotation dans un fluide dense
Modal analysis of a spinning disk in dense fluid as a model for hydraulic turbines

Ingénierie de projet • Project engineering

BRICHOT ANTOINE | Comment essayer de ne pas rater sa start-up ?
How to try not to make a start-up fail?

ERREGUI MOHAMMED | Développement et optimisation de la construction et de la durabilité des aérorefrigerants
Development and optimization of the construction and durability of NDCT

GHAZI IMANE | L'immobilier au coeur des mutations contemporaines
Real estate at the heart of contemporary changes

MAACHA YANIS | Conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique
Conversion of mechanical to electrical energy

Matériaux • Materials

BENKABBOUR YOUSSEF | Étude de faisabilité en vue de réaliser des voussoirs en béton fibré (tunnel de la ligne 16)
Feasibility study for the use of fibre-reinforced concrete in precast tunnel segments

BEN KHODJA ARBIA | Modélisation par simulation numérique du contact d'un pneumatique agricole avec un sol meuble
Numerical analysis of the contact between an agricultural tire and soft soil

CORTHER CLÉMENT | Prédiction du comportement des métaux dits « TRIP Steels »
Prediction of the deformation induced martensitic transformation behavior in TRIP Steel

HOGREL ADRIEN | Hydrogels et complexes poly-ioniques vésiculaires
Vesicular polyion complex-encapsulated hydrogel for sustained drug release

VIALON-GALINIER LÉO | Prise en compte des risques d'origine glaciaire et périglaciaire
Taking into account glacial and peri-glacial hazards

YANG XUE | Caractérisation du processus du vissage dans les thermoplastiques
Tightening characterization in thermoplastics

Mécanique des fluides • Fluid mechanics

LAFoux BAPTISTE | Aérodynamique et acoustique du décrochage : application au bruit des éoliennes
Stall aerodynamics and acoustics: application to wind turbines

Modélisation • Modelling

GAS CLÉMENTINE | Algorithme de Lanczos par bloc pour l'assimilation de données
Block Lanczos Algorithm in Variational Data Assimilation

LOULOU ZAKARIYA | Effets du comportement viscoélastique sur la forme de structures bistables
Impact of viscoelastic behavior on the deployed shape accuracy of bistable tape springs



Richard CARON

Élève ingénieur concours commun

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Michelin (Nihon)

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Jacques BABAUD, Cured Tire Designer Architect

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Philippe BISCH, enseignant, École des Ponts ParisTech



Découplage des paramètres physiques d'un pneu, influençant le bruit intérieur de véhicules

Simulation • Dynamique • Découplage • Contact

Contexte

Avec l'émergence des voitures à moteurs électriques et une tendance nouvelle à alléger le corps des voitures, les voitures deviennent globalement plus silencieuses, ce qui accroît proportionnellement l'influence des pneus sur la performance de bruit entendu à l'intérieur de la voiture. C'est pourquoi Michelin s'intéresse de près à cette caractéristique qui devient aujourd'hui une exigence pour les constructeurs automobiles, discriminant les véhicules bas de gamme des véhicules haut de gamme.

Missions et objectifs

Dans ce contexte, ma mission était de développer un outil de simulation prédisant le bruit intérieur en fonction du pneu utilisé. Après avoir fourni des outils complémentaires d'analyse, je devais proposer des protocoles de découplage : la complexité d'un pneu empêche une analyse directe et simple de chacun des phénomènes de sources de bruit. Principalement, je devais découpler les effets dus au contact avec le sol, des effets dus à la rigidité du pneu.

Résumé

Le bruit intérieur est le résultat de la vibration du corps de voiture, qui met en mouvement l'air à l'intérieur de la voiture. Ce bruit a pour source le contact entre la route et le pneu : à cause de la rugosité du sol et des sculptures du pneu, le contact est irrégulier et provoque une excitation de la bande de roulement. Cette vibration mécanique est transmise à travers le pneu et la voiture, qui peuvent être

considérés comme des filtres mécaniques. Puisque les vibrations mécaniques ne sont prédominantes en amplitude que sur [0 Hz – 500 Hz], nous nous limitons à cette bande de fréquence. Pour prédire la performance du bruit intérieur, nous utilisons donc un modèle de contact quasi-statique entre la bande de roulement et le sol, un modèle complet de pneu et une fonction de transfert du véhicule. Nous ajoutons également un filtre correspondant à la sensibilité humaine.

J'ai fourni des critères de convergence de maillage pour une utilisation convenable de l'outil. J'ai également développé l'outil pour avoir accès à de nouveaux champs de visualisation en sortie, dans le but de raffiner la compréhension physique du phénomène. J'ai réussi à séparer les contributions des différentes zones du pneu, notamment les épaules vis-à-vis du centre de la bande de roulement.

Enfin, j'ai proposé deux protocoles plus poussés. Le premier permet d'analyser, pour un même pneu, l'influence de la géométrie de l'aire de contact sur le sol. Le deuxième permet de découpler les effets dus au contact de ceux liés à la fonction filtre du pneu, lorsqu'on compare deux pneus.

Vibration	Mécanique	Acoustique
Fréquence minimale de perception	0 Hz	20 Hz
Fréquence maximale de perception	120 Hz	20 000 Hz
Amplitude minimale de perception	0,015 m/s ² (seuil de perception)	2,0 · 10 ⁻⁵ P ₀ (seuil d'audibilité P ₀)
Amplitude maximale tolérable	1 m/s ² (apparition de l'inconfort)	20 P ₀ (seuil de douleur)

Perception des vibrations par l'humain (tableau réalisé par Richard Caron).

Decoupling of physical parameters of a tire impacting the interior noise

Simulation • Dynamics • Decoupling • Contact

Context

With the emergence of cars with electric motors and a new trend to make cars lighter, cars are becoming quieter overall, which proportionally increases the influence of tires on the noise performance heard inside the car.

Missions and goals

In this context, my mission was to develop a simulation tool that predicts interior noise as a function of the tire used. After providing complementary analysis tools, I had to propose decoupling protocols: the complexity of a tire prevents a direct and simple analysis of each of the noise source phenomena. Mainly, I had to decouple the effects due to the contact with the ground from the effects due to the rigidity of the tire.

Abstract

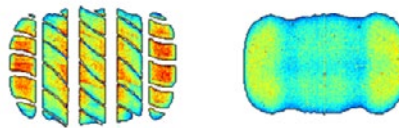
Interior noise is the result of the vibration of the car body, which sets the air inside the car in motion. The vibration source is the contact between the road and the tire: due to ground roughness and tread sculptures, there is no sliding contact and the tire tread is excited. This mechanical vibration is transmitted through the tire and the car, which can be regarded as mechanical filters. Since mechanical vibrations are predominant only on [0 Hz - 500 Hz], we restrict the analysis on this frequency range. So, in order to predict the interior

noise performance, we use a quasi-static contact model between the tire tread and the ground, a complete tire model and a frequency answer response of the car. We add a filter corresponding to the human sensibility too.

I provided mesh convergence criteria for a good use of the tool. I also developed the tool outputs to have access to new visualization fields, which allows us to have a better physical understanding of the phenomenon.

I managed to separate contributions on noise from different tire zones, especially shoulders versus center of the tire tread.

Finally, I proposed two advanced protocols. The first one predicts the interior noise, for a same tire, with different contact patch geometries. The second one decouples the effects coming from the contact geometry and the effects coming from the filter function of the tire, when we compare two tires.



Champ de pression au niveau de l'aire de contact entre le sol et 2 pneus, à rainures (gauche) et lisse (droite). Ce sont les variations de pression qui engendrent le bruit intérieur
© Jacques Babaud, 2019 (avec son autorisation).

Calcul de structure
/ éléments finis
Finite element
modelling

Conception /
prototypage
Design / prototyping

Évaluation
environnementale
Sustainable
engineering

Ingénierie de
projet
Project engineering

Interaction fluide
structure
Fluid-structure
interaction

Matériaux
Materials

Mécanique des
fluides
Fluid mechanics

Mécatronique et
robotique
Mechatronics and
robotics

Modélisation
Modelling

Éléments de bibliographie

MICHELIN, 2002. *The tyre, mechanical and acoustic comfort*. Société de technologie Michelin, 128p.

GÉRADIN, Michel, RIXEN, Daniel, GÉRADIN, M. et RIXEN, D., 1993. *Théorie des vibrations : application à la dynamique des structures*. Paris : Masson.



Xavier CAUVIN

Élève ingénieur Polytechnique

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à Sodern

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Gil COUTINHO, ingénieur méca-thermique

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Alain EURLACHER, président du département Génie mécanique et matériaux,
École des Ponts ParisTech



Dimensionnement mécanique de cartes électroniques



Visuels d'étoiles • Vibrations aléatoires • PSD • Rupture • Fissure

Contexte

Sodern est une entreprise qui produit des viseurs d'étoiles pour des engins spatiaux et militaires, ainsi que des instruments d'observation et des systèmes scientifiques embarqués.

Avec l'évolution des composants utilisés pour les applications spatiales, les entreprises qui s'en servent doivent mettre à jour leurs méthodes de report sur les cartes et doivent valider les environnements mécaniques et thermiques que vont voir ces composants une fois en vol.

Missions et objectifs

Lors de ce projet de fin d'études, mon travail a consisté à modéliser certaines de ces cartes en éléments finis, puis à calculer les bases modales associées pour les environnements vibratoires et les chocs mécaniques.

À l'issue de ce travail, j'ai été amené à réfléchir sur un modèle de dommage qui pourrait expliquer les défaillances des composants observées lors des essais.

Résumé

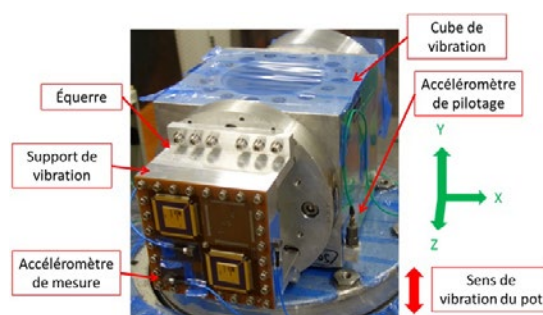
Mon projet de fin d'études au sein de Sodern concerne l'étude d'une campagne d'essai sur des cartes électroniques. Il se place entre plusieurs campagnes qui ont la particularité de partager plusieurs composants.

J'ai commencé par modéliser des cartes en éléments finis à l'aide du logiciel de calcul NX Nastran. J'ai obtenu les bases modales associées pour les environnements vibratoires et les chocs mécaniques. L'objectif était de modéliser au mieux les cartes électroniques, sans utiliser des modèles trop lourds, pour pouvoir calculer des contraintes dans ces modèles.

Ensuite, j'ai eu à recalculer ces modèles en fréquence et en amplitude en me basant sur les données des essais, pour pouvoir évaluer les contraintes dans les parties critiques des composants. L'objectif était de représenter au mieux les amortissements des ensembles électroniques.

Enfin, après avoir modélisé les composants et les cartes, j'ai tenté de trouver des explications physiques aux ruptures qui avaient été observées lors de campagnes d'essais. J'ai notamment mis en œuvre une méthode de dommage spectral pour l'environnement en vibrations aléatoires. L'objectif était de trouver un modèle de dommage qui expliquerait la tenue ou la rupture des composants lors des campagnes d'essais.

Enfin, j'ai tenté d'utiliser cette méthode pour évaluer la longueur de fissures dans des brasures soumises successivement aux trois environnements : vibrations, chocs, thermique.



Montage expérimental de vibration © Xavier Cauvin, 2019.

Calcul de structure
/ éléments finis
Finite element
modelling

Conception /
prototypage
Design / prototyping

Évaluation
environnementale
Sustainable
engineering

Ingénierie de
projet
Project engineering

Interaction fluide
structure
Fluid-structure
interaction

Matériaux
Materials

Mécanique des
fluides
Fluid mechanics

Mécatronique et
robotique
Mechatronics and
robotics

Modélisation
Modelling

Mechanical calculations on electronic chips

Electronic chips • Star trackers • Modal basis •
Random vibrations • Fatigue

Context

Sodern is a company which produces and sells star trackers for military and space vehicles. It also manufactures scientific systems for space applications.

Missions and goals

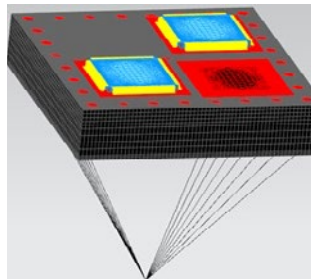
My final year project at Sodern dealt with the study of a test campaign on electronic circuit boards. It focused on different campaigns which shared some electronic chips. I had the task of modeling critical chips, and then did calculations on them to find the cause of cracks during tests run at Sodern.

Abstract

My work consisted in modeling these boards on a finite element software, then calculating their modal bases for the random vibration and shock environments. Then, I had to match these models in frequency and scale to the tests that were run in the lab. Finally, I was able to calculate the stresses on the critical parts of the electronic chips.

Then, I worked on a mechanical fatigue method to explain the failures observed in the tests. More specifically, I worked on a spectral damage method for the random vibration environment.

Finally, I tried to use this method to estimate the length of cracks in solder joints which went through thermal, vibration, and shock environments.



Modélisation numérique d'une carte de vibration © Xavier Cauvin, 2019.

Éléments de bibliographie

ROGNON, Hervé, 2013. *Comportement en fatigue sous environnement vibratoire : prise en compte de la plasticité au sein des méthodes spectrales*. Thèse. Châtenay-Malabry : École centrale de Paris.

GRIEU, Marc, 2010. *Étude de la fatigue des joints brasés de composants électroniques soumis à des sollicitations thermomécaniques, vibratoires et combinées* [en ligne]. Thèse. École nationale supérieure des mines de Paris. [Consulté le 5 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00598315>.

HERBLAND, Thibault, 2009. *Une méthode de correction élastoplastique pour le calcul en fatigue des zones de concentration de contraintes sous chargement cyclique multiaxial non proportionnel* [en ligne]. Thèse. École nationale supérieure des mines de Paris. [Consulté le 5 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00479991>.



Jonas APARICIO

Élève ingénieur concours commun
Master Durabilité des matériaux et des structures pour l'énergie (DMSE),
Sorbonne Université & École des Ponts ParisTech

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Dirisolar

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Bastien GUERIN, ingénieur

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Gilles BOUCHET, enseignant, Airbus Helicopters



Étude de faisabilité d'un ballon captif pouvant résister à une tempête

Ballon • Dimensionnement • Aérodynamique • Structure • CFD

Contexte

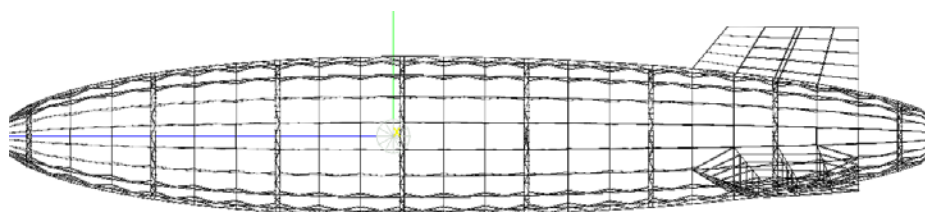
Actuellement les ballons captifs utilisés pour la surveillance sont inopérables en cas de vent fort. Le passage d'une structure souple à une structure rigide pourrait permettre de tenir ces vents. La création d'un ballon pouvant soutenir tous les types de vents rendrait possible les vols très longue durée, jusqu'alors limités par la variabilité de la météo, et permettra la continuité de la fourniture d'un réseau ou d'une couverture de surveillance.

Missions et objectifs

L'objectif de ce projet de fin d'études était de concevoir un plan détaillé de la structure interne d'un ballon pouvant porter une charge donnée, à une altitude donnée, pour un vent donné. Une note de calcul expliquant les choix techniques et technologiques opérés dans la réalisation et prouvant la capacité du ballon à tenir le cahier des charges a également été réalisée.

Résumé

Cette étude porte sur le début de la conception d'un ballon captif pouvant tenir des vents extrêmes. Elle comporte une discussion sur les techniques utilisées et des études aérodynamiques visant à optimiser la prise au vent de l'aérostaut. Elle propose aussi un dessin de la structure interne et des calculs qui justifient qu'il puisse tenir la charge. Un autre point essentiel des ballons captifs, le câble, y est étudié en détail. Enfin, l'étude traite de la réalisation d'un logiciel permettant de générer automatiquement un dessin de structure rigide de ballon, clé de la réussite de l'étude. Ce logiciel permet de générer très rapidement des structures quasi finales de ballon rigide et sera utilisé par la suite pour les nouveaux développements de ballon.



Structure du ballon © Jonas Aparicio, 2019.

Design of a tethered balloon which can survive a storm

Balloon • Sizing • Aerodynamism • Structure • CFD

Context

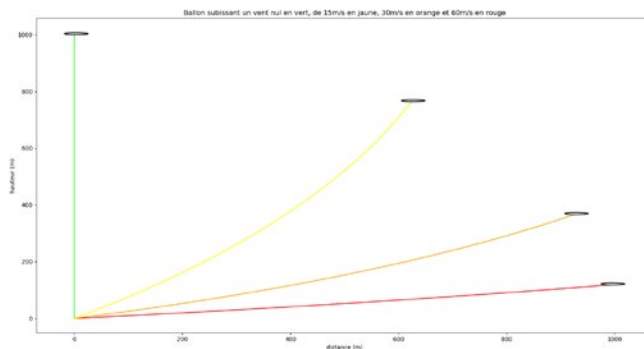
Nowadays, tethered aircraft which are used for surveillance cannot be used when the winds are too strong. By changing the technology from Blimp to rigid aircraft, it can be possible to make an aircraft that can sustain those winds. An aircraft that can withstand any wind would make possible very long distance flights, that were previously limited by the variability of the weather. It is an important step in the continuity of aircraft-based wireless network or surveillance coverage.

Missions and goals

The aim of the study are the necessary calculations required to make a drawing of the structure of such an aircraft. Both the drawing and the calculation are part of the deliverable, as was an engineering document explaining the technical and technological choices of the study and computational proof that the aircraft is able to withstand the design plot.

Abstract

This study presents the design of a tethered aircraft that can survive wind of extreme force. It contains a discussion about the techniques used, aerodynamic studies, structural studies and draft of the internal structure of the aircraft. The tether, which is another important point in aircraft is thoroughly studied. Finally, the study talks about the creation of a software that automatically generates an internal structure for a balloon that was key in the success of this study. This software makes the generation of a nearly finished internal balloon structure easy and will be used in further balloon development.



Étude de la déformée des câbles d'ancrages sous vent © Jonas Aparicio, 2019.

Calcul de structure
/ éléments finis
Finite element
modelling

Conception /
prototypage
Design / prototyping

Évaluation
environnementale
Sustainable
engineering

Ingénierie de
projet
Project engineering

Interaction fluide
structure
Fluid-structure
interaction

Matériaux
Materials

Mécanique des
fluides
Fluid mechanics

Mécatronique et
robotique
Mechatronics and
robotics

Modélisation
Modelling

Éléments de bibliographie

KHOURY, Gabriel Alexander et GILLET, John David, 1999. *Airship technology*. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press, 545 p.



Olivier SIMONNOT

Élève ingénieur double diplôme
ENS Paris-Saclay, Cachan

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Saipem

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Thierry DELAHAYE, Engineer Innovation & Technology Development

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Alain EURLACHER, président du département Génie mécanique et matériaux,
École des Ponts ParisTech



Conception mécanique d'un système de maintenance d'éoliennes en mer



Conception • Mécanique • Offshore • Éolien

Contexte

Aujourd'hui, pour exécuter une maintenance de grosses pièces sur une éolienne *offshore*, on utilise un *Jack-up vessel* (une plateforme-grue flottante) généralement en été, pendant une grosse campagne de maintenance. Cette solution est très onéreuse et implique beaucoup de revenus perdus par l'arrêt de production. L'idée de ce projet de fin d'études est de trouver une innovation de rupture pour réaliser la maintenance des champs, afin de créer une importante valeur ajoutée à notre service et ainsi réduire les coûts pour le producteur et le consommateur d'énergie.

Missions et objectifs

- Étude de marché ;
- analyse de la valeur ;
- revue de la concurrence et de la propriété intellectuelle ;
- analyse de conception (méthodologie C-K) ;
- identification des nœuds technologiques ;
- projection de l'impact sur la valeur ajoutée des différentes solutions ;
- sélection de 4 familles de concepts ;
- pré-dimensionnement et étude de faisabilité.

Résumé

Un état de l'art sur l'industrie des éoliennes en mer a été réalisé. Les principaux leviers sur la valeur ajoutée par rapport à la solution actuelle sont là. Pour activer les deux leviers de valeur ajoutée sur la maintenance, il faut un large scan des idées de substitution : une analyse des brevets et moyens d'autres secteurs a été réalisée pour avoir un panel complet de toutes les solutions possibles afin d'effectuer la maintenance. Un regroupement en famille a été réalisé afin de calculer rapidement l'intérêt et les performances des différentes familles de solutions. En parallèle, des séances de créativité ont eu lieu afin de réfléchir à une solution optimale venant des airs pour effectuer la maintenance.

Enfin, le développement préliminaire d'une solution optimale a été réalisé afin d'orienter la suite du travail qui est le développement technique de l'idée. Une définition des différentes étapes de la maintenance avec le nouveau système et une évaluation précise de sa valeur ont été accomplies.



Jack-up Vessel for Heavy Maintenance © Knud Erik Vinding, 2016
(source : Pixabay).

Mechanical design of an offshore wind turbine maintenance system

Design • Mechanical • Offshore • Wind

Context

Today, to carry out maintenance of large spare parts on an offshore wind turbine, a jack-up vessel is generally used in summer, during a major maintenance campaign. This solution is very expensive and involves a lot of income lost by stopping production. The idea of this final year project is to find a breakthrough innovation to carry out field maintenance, in order to create significant added value to our service and reduce costs for the energy producer and consumer.

Missions and goals

- Market study;
- value engineering;
- competition and intellectual property review;
- design analysis (C-K methodology);
- identification of technology nodes;
- projection of the impact on the added value of the different solutions;
- selection of two concepts;
- pre-design, feasibility study and calculation of development cost.

Abstract

A state of the art on the offshore wind turbine industry has been produced. The main levers on added value compared to the current solution are to activate the two added value levers on heavy maintenance; a large scan of substitution ideas, patents and resources from other sectors was carried out to obtain a full panel of all possibilities in order to do the maintenance. A family grouping was done in order to quickly calculate the interest and performance of the different families of solutions. In parallel, creativity sessions were held in order to think about an optimal solution from the air to set up maintenance.

Finally, the preliminary development of an optimal solution was done in order to guide the rest of the work which is the technical development of the idea. A definition of the different stages of maintenance with the new system and a precise evaluation of its value was made.



Routine Maintenance with Surfer Vessel © Anette Bjerg, 2016
(source : Pixabay).

Calcul de structure
/ éléments finis
Finite element
modelling

Conception /
prototypage
Design / prototyping

Évaluation
environnementale
Sustainable
engineering

Ingénierie de
projet
Project engineering

Interaction fluide
structure
Fluid-structure
interaction

Matériaux
Materials

Mécanique des
fluides
Fluid mechanics

Mécatronique et
robotique
Mechatronics and
robotics

Modélisation
Modelling



Rémi BOUCHARD

Élève ingénieur concours commun

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à :
Chantiers de l'Atlantique

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Benoit LE PAPE, responsable secteur Navire

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Laurent MAGHDISSIAN, responsable académique du département
Génie mécanique et matériaux, École des Ponts ParisTech



La gestion des grands projets appliquée à la construction navale

Mégaprojet • Gestion contractuelle • Diagramme de Gantt •
Ordonnancement • Préfabrication

Contexte

La notion de « projet » devient omniprésente dans toutes les disciplines, tous les métiers et toutes les entreprises, au risque de devenir un mot que l'on utilise sans pouvoir le définir. Un autre élément qui devient de plus en plus récurrent est la notion de « mégaprojet », que ce soit dans le secteur de la construction, de l'informatique et même de l'événementiel. Qu'est-ce qui caractérise un « mégaprojet » et où est la limite avec un « petit projet » ? Comment leur fréquence peut-elle être expliquée et quelle est leur efficacité ? C'est d'abord sur ces questions générales mais fondamentales que l'on se penche dans une étude bibliographique, avant de faire un zoom sur les grands projets de construction navale. Leur récurrence s'accroît aussi, en phase avec la croissance du marché de la croisière, mais quelles sont les ressemblances et les différences avec d'autres grands projets de secteurs similaires, étudiés pendant la revue bibliographique ?

Missions et objectifs

L'objectif premier est de dresser les caractéristiques principales des grands projets en termes d'efficacité budgétaire et de méthodes de suivi, à partir d'études bibliographiques. Vient ensuite une comparaison sur les chantiers de paquebots de croisière à partir d'une étude de terrain, menée en parallèle des missions quotidiennes de coordination des travaux à bord, pour observer les zones d'optimisation, en termes de séquençage et de simultanéité d'activités, ainsi que de préfabrication.

Résumé

Au terme d'une revue littéraire de la gestion des grands projets, on peut souligner un paradoxe assez important :

- les mégaprojets sont de plus en plus fréquents ;
- les mégaprojets ont un taux de succès assez faible, en termes de maîtrise des budgets.

Ce paradoxe n'est pas observable pour la construction de paquebots de croisière car la maîtrise des budgets est assurée par plusieurs points :

- les infrastructures sur site permettent de déployer des moyens fixes qui assurent une production en chaîne et une préfabrication, plus similaire à une usine qu'à un chantier ;
- la répétitivité des paquebots de série permet d'amortir les coûts d'erreurs techniques et organisationnelles réalisées sur les prototypes de série et corrigées sur les navires suivants ;
- les outils de pilotage et de suivi s'appuient une réflexion préalable sur les tâches à réaliser et les interdépendances de celles-ci, pour cadencer efficacement la multitude de métiers et les flux logistiques associés.

Megaproject management applied to naval construction

Megaproject • Contract management • Gantt diagram •
Sequencing • Prefabrication

Context

The notion of "project" is becoming omnipresent in all fields & companies, at the risk of using that word without the ability to define it. Another increasingly recurring element is the notion of "megaproject", be it in the construction, IT or event sectors. What characterizes a "megaproject" and what is the limit with a "small project"? How can their frequency be explained and what is their efficiency? We first look into these general albeit fundamental questions through a literary review, before zooming in on megaprojects in naval construction. Their frequency is also increasing, in line with the growth of the cruise line market, although what are the similarities and differences to our literary review?

Missions and goals

The primary objective is to draw the main characteristics of megaprojects, in terms of budget efficiency and monitoring methods, through literary reviews. Next is a comparison with cruise line shipyards through a field study, done in parallel to daily missions of on-board work coordination, to observe the areas of optimization, in terms of sequencing and simultaneity of activities as well as prefabrication.

Abstract

After a literary review of megaproject management, we can draw an important paradox:

- megaprojects are increasingly frequent;
- megaprojects have a low success rate, in terms of budget management.

This paradox is not observable for naval construction, the budget management is secured via the following:

- the on-site infrastructure allow for static resources aimed at mass production and prefabrication, more similar to a factory than a construction site;
- the repeatability of a class of cruise ships allows for a recouping of costs linked to technical or organisational errors done on the class prototype and corrected for the next ships;
- the monitoring tools are based on a preliminary and thorough reflexion on the different tasks and their interdependencies, to efficiently schedule the various trades and their logistical flows.

Calcul de structure
/ éléments finis
Finite element
modelling

Conception /
prototypage
Design / prototyping

Évaluation
environnementale
Sustainable
engineering

Ingénierie de
projet
Project engineering

Interaction fluide
structure
Fluid-structure
interaction

Matériaux
Materials

Mécanique des
fluides
Fluid mechanics

Mécatronique et
robotique
Mechatronics and
robotics

Modélisation
Modelling

Éléments de bibliographie

FLYVBJERG, Bent, 2017. *The Oxford handbook of megaproject management*. Oxford : Oxford University Press, 568 p.



Antoine BRICHOT

Élève ingénieur licence

Promotion 2019

Création d'entreprise réalisée à
WIND my ROOF

Tuteur professionnel et académique • *Organization and academic Tutor* :
Laurent MAGHDISSIAN, responsable académique du département
Génie mécanique et matériaux, École des Ponts ParisTech



Comment essayer de ne pas rater sa *start-up* ?

Start-up • Entrepreneuriat • Financement de start-up • Posture entrepreneuriale

Contexte

Dans un monde où la transition est le maître mot, le rôle des ingénieurs est primordial. C'est à eux de trouver les solutions de demain.

C'est ce que nous avons voulu faire avec WIND my ROOF. Partant du constat qu'il manquait une brique de production d'électricité sur les bâtiments, nous avons créé une turbine modulaire qui permet d'exploiter le vent en zone urbaine pour produire de l'électricité propre et augmenter l'autonomie énergétique du bâtiment.

Missions et objectifs

- Effectuer un état des lieux de l'écosystème entrepreneurial français, au travers d'un retour d'expérience immersif ;
- analyser le financement des start-up en France ;
- identifier les facteurs clés de succès et les raisons principales de l'échec d'un projet entrepreneurial ;
- montrer l'incertitude permanente à laquelle fait face l'entrepreneur ;
- convaincre du bien-fondé d'une expérience entrepreneuriale, réussie ou non, dans le développement personnel.

Résumé

Dans un pays comptant plus de 16 000 start-up, il est essentiel pour les futurs entrepreneurs français de comprendre quels sont les points de vigilance lorsque l'on veut créer sa start-up.

D'abord, il faut ramener l'idée à ce qu'elle est : un rêve. Le succès d'un projet entrepreneurial n'est que très peu conditionné par l'idée, alors que l'exécution du projet global mènera plus probablement un entrepreneur vers le succès.

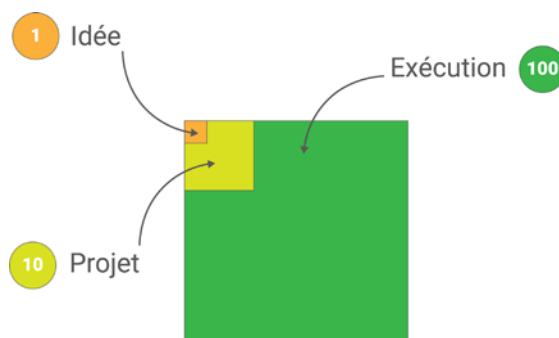
Ensuite, il est primordial d'avoir en tête les trois menaces principales de la start-up :

1. l'inadéquation du produit au marché ;
2. le dysfonctionnement de l'équipe ;
3. le manque de fonds.

La dernière menace est un challenge supplémentaire imposé à toutes les start-up : la levée de fonds. En France, le taux de succès d'une opération de financement est inférieur à 5%, soit environ 600 levées par an, dont un tiers est réalisé par des start-up digitales, récoltant plus de 50% des fonds.

L'équipe est véritablement le point de départ d'une start-up. Les cofondateurs doivent être alignés sur ce qu'ils veulent faire de ce projet et comment ils souhaitent y arriver. Mais une équipe de fondateurs ne suffit pas, et très vite, une start-up devra s'armer d'employés ainsi que d'un organe de direction et faire jouer son écosystème pour avancer vite et bien.

Avancer vite et bien, mais dans la pénombre, sans certitude que la route empruntée est la bonne. La start-up entre ainsi dans sa phase de développement du *business model* en allant chercher ses premiers clients. Ce n'est qu'en identifiant et saisissant correctement les opportunités que la start-up parviendra à sortir de la « vallée de la mort » en seul morceau, avec un modèle viable et industrialisable pour l'hypercroissance à venir.



Facteurs de succès d'un projet entrepreneurial © Antoine Brichot, 2019.

How to try not to make a start-up fail?

Start-up · Entrepreneurship · Start-up funding · Entrepreneurship mindset

Context

In a world where transition is the watchword, the role of engineers is essential. It is up to them to find the solutions of tomorrow. This is what we wanted to do with WIND my ROOF. Starting from the observation that a brick for electricity production was missing on buildings, we developed a modular roof turbine which makes it possible to harness the wind in urban areas to produce clean electricity and increase the energy autonomy of the building.

Missions and goals

- Conduct an inventory of the French entrepreneurial ecosystem, through an immersive feedback;
- analyze start-up funding in France;
- identify the key success factors and the main reasons for the failure of an entrepreneurial project;
- show the ongoing uncertainty facing the entrepreneur;
- highlight the benefits of an entrepreneurial experience, whether successful or not, in personal development.

Abstract

In a country with more than 16,000 start-ups, it is essential for future French entrepreneurs to understand what the points of vigilance are when creating a start-up.

First, you have to bring the idea back to what it is, a dream. The success of an entrepreneurial project is conditioned very little by the idea, while the execution of the overall project will more likely lead an entrepreneur to success.

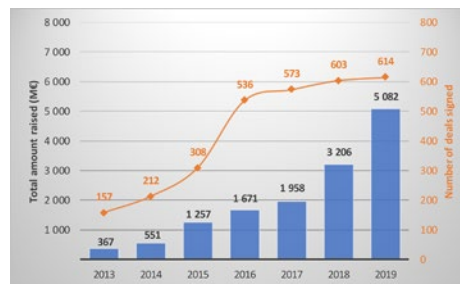
Next, it is essential to have in mind the three main threats to the start-up:

1. the lack of product/market fit;
2. the dysfunction of the team;
3. the lack of funds.

The last threat is an additional challenge imposed on all start-ups: fundraising. In France, the success rate of a financing operation is under 5%, or around 600 operations a year, a third of which are carried out by digital start-ups, raising more than 50% of the funds.

The team is truly the starting point of a start-up. The co-founders need to be aligned with what they want to do with this project and how they want to get there. But a team of founders is not enough, and soon a start-up will have to arm itself with employees and a management board, and use its ecosystem to move quickly and well.

Move quickly and well, but in the dark, without certainty that the path taken is the right one. The start-up is thus entering its business model development phase by going after its first customers. It is only by correctly identifying and seizing the opportunities that the start-up will manage to emerge from « Death Valley » in one piece, with a viable and industrializable model for future hyper-growth.



Growth of french startups fundraising © Antoine Brichot, 2019.

Calcul de structure / éléments finis
Finite element modelling

Conception / prototypage
Design / prototyping

Évaluation environnementale
Sustainable engineering

Ingénierie de projet
Project engineering

Interaction fluide structure
Fluid-structure interaction

Matériaux
Materials

Mécanique des fluides
Fluid mechanics

Mécatronique et robotique
Mechatronics and robotics

Modélisation
Modelling

Éléments de bibliographie

ALLEN, Kathleen R., 2010. *Entrepreneurship for scientists and engineers*. Upper Saddle River, N.J., États-Unis d'Amérique : Prentice Hall, 244 p.



Mohammed ERREGUI

Élève ingénieur double diplôme
École Hassania des travaux publics (EHTP), Casablanca, Maroc

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à :
Eiffage Infrastructures

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Jean-Christian MEDOU, coordinateur direction technique nucléaire

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Robert LE ROY, directeur du master spécialisé® Génie civil européen,
École des Ponts ParisTech



Développement et optimisation de la construction et de la durabilité des aéroréfrigérants

**Aéroréfrigérant à tirage naturel • Tour de refroidissement • Conception et construction
des aéroréfrigérants • Durabilité des aéroréfrigérants • Méthodes de construction**

Contexte

Mon projet s'inscrit dans une démarche proactive d'Eiffage pour l'optimisation de la construction des aéroréfrigérants afin de s'approprier à répondre aux sollicitations d'EDF pour les futures centrales nucléaires. C'est une décision qui a été prise suite à la publication du plan pluriannuel pour l'énergie (PPE) en 2018, qui prévoit la construction de 6 nouveaux réacteurs EPR à partir de 2025.

Missions et objectifs

L'objectif du projet est de reprendre l'expertise sur la construction des aéroréfrigérants, d'optimiser leur constructibilité et durabilité pour s'aligner avec les nouvelles normes de construction et de sécurité. Ce qui inclut, d'une part, la réalisation d'un retour d'expérience sur le processus de construction des aéroréfrigérants en France et dans le monde, et, d'autre part, l'optimisation de la conception et de la construction de ces derniers.

Résumé

Les aéroréfrigérants sont des gigantesques échangeurs de chaleur assurant le refroidissement en circuit fermé des tranches nucléaires. Cette fonction en fait des ouvrages vitaux permettant à la fois d'assurer la sûreté des installations nucléaires et de garantir la continuité de la production d'électricité nucléaire. Compte tenu de ces enjeux, la conception et la construction de ces structures devront être bien maîtrisées pour garantir une qualité de réalisation et une durabilité accrue.

Dans ce contexte, mon travail s'inscrit dans une démarche proactive d'Eiffage pour le développement de la conception et de la construction des futurs aéroréfrigérants en raison des pathologies constatées sur le parc actuel d'EDF et afin de reconstituer leur expertise sur la construction des aéroréfrigérants et s'approprier aux futurs projets. Pour ce faire, j'ai réalisé des recherches bibliographiques sur la conception et le dimensionnement des aéroréfrigérants et leurs comportements vis-à-vis de leurs sollicitations. De plus, j'ai effectué un travail d'investigation et de recherche dans les archives pour retracer les méthodes de construction des deux aéroréfrigérants de Civaux, construits en 1994. En outre, j'ai établi une analyse des différentes pathologies constatées sur les aéroréfrigérants du parc actuel d'EDF.

Par la suite, ayant maîtrisé la conception et les méthodes de construction des anciens aéroréfrigérants ainsi que leurs mécanismes de dégradation, j'ai réalisé une étude d'optimisation du processus de leur construction et de la durabilité. Celle-ci vise à trouver un compromis entre la rapidité et la viabilité de la construction des aéroréfrigérants d'une part, et la durabilité et les performances structurelles d'autre part.

Development and optimization of the construction and durability of NDCT

Natural draft cooling towers (NDCT) • Design and construction • Durability of natural draft cooling towers • Construction methods

Context

My project is part of a proactive approach by Eiffage for the optimization of the construction of natural draught cooling towers in order to prepare to respond to EDF requests for future nuclear power plants. This is a decision that was made following the appearance of the multi-year energy plan (PPE) in 2018, which has planned the construction of 6 new EPR reactors as of 2025.

Missions and goals

The main aim of the project is to regain expertise on the construction of natural draught cooling towers and to optimize their constructibility and durability in order to comply with the new construction and safety standards. This includes, on the one hand, the establishment of a feedback on the construction process of natural draught cooling towers in France and around the world, and on the other hand, the optimization of their design and the construction.

Abstract

Natural draft cooling towers are giant heat exchangers providing closed circuit cooling of nuclear reactors. This function makes of them a vital nuclear plant component ensuring both the security of nuclear facilities and the continuity of nuclear power generation. Given these challenges,

the design and construction of these structures should be well mastered to ensure the expected construction quality and an increased durability.

In this context, my work is part of a proactive approach of Eiffage for the development of the design and construction of the future natural draught cooling towers due to their structure's pathologies observed on current EDF stock and to rebuild their expertise on construction of this challenging structure in order to tender to future cooling tower construction projects. For this purpose, I established a bibliographic research on the design and sizing of natural draft cooling towers and their mechanical behavior. In addition, I conducted an investigation work and research in the archives to recover the methods of construction of the two natural draft cooling towers of Civaux, built during the 1990s. In addition, I performed an analysis of the different structures' pathologies observed on EDF's current park.

Subsequently, having mastered the design and construction methods of natural draft cooling towers as well as their mechanical behaviors and degradation mechanisms, I realized an optimization of the construction process and the durability of these particular structures. It aims at finding an acceptable compromise between the speed and viability of the construction process of natural draft cooling towers on the one hand and their durability and structural performances on the other hand.

Calcul de structure
/ éléments finis
Finite element
modelling

Conception /
prototypage
Design / prototyping

Évaluation
environnementale
Sustainable
engineering

**Ingénierie de
projet
Project engineering**

Interaction fluide
structure
Fluid-structure
interaction

Matériaux
Materials

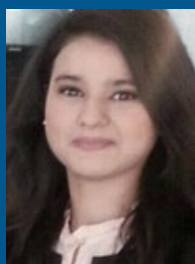
Mécanique des
fluides
Fluid mechanics

Mécatronique et
robotique
Mechatronics and
robotics

Modélisation
Modelling

Éléments de bibliographie

HARTE, Reinhard et WITTEK, Udo, 2009. Recent developments of cooling tower design. In : *Symposium of the International Association for Shell and Spatial Structures (50th. 2009. Valencia). Evolution and Trends in Design, Analysis and Construction of Shell and Spatial Structures : Proceedings* [en ligne]. Editorial Universitat Politècnica de València. Disponible à l'adresse : <https://riunet.upv.es/handle/10251/6483> [consulté le 7 mai 2020].



Imane GHAZI

Élève ingénieure double diplôme
École Hassania des travaux publics (EHTP), Casablanca, Maroc

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
BearingPoint

Tutrice professionnelle · *Organization Tutor* :
Anne TOUSSAINT, manager

Tutrice académique · *Academic Tutor* :
Ingrid NAPPI-CHOULET, enseignante, ESSEC Business School



L'immobilier au coeur des mutations contemporaines



Immobilier · Transition énergétique · Transformation digitale · Évolution des usages

Contexte

Diachroniquement, le secteur de l'immobilier français a connu des crises et des périodes d'ascension. Plusieurs approches ont marqué l'analyse de ce marché. Entre le juridique, le social, le patrimonial et le financier, il suscite durablement un grand intérêt auprès de différents acteurs, à savoir les chercheurs, les investisseurs, les banques, les constructeurs et les utilisateurs.

Aujourd'hui, l'immobilier est au cœur des nouvelles mutations contemporaines. En effet, en tant que construction immobilière, le bâtiment utilise et consomme de l'énergie. En tant que bien s'inscrivant dans un contexte urbain de plus en plus connecté, le bâtiment devient lui aussi connecté. En tant qu'actif à valeur d'usage quotidienne, le bâtiment change d'aménagements intérieurs pour accompagner les mutations des modes de vie et des modes de travail.

Loin d'interagir d'une manière indépendante, ces mutations présentent des corrélations dont il était important d'étudier les aspects selon deux visions : analytique et pratique.

exploitation, l'évolution des usages et des aménagements, plusieurs interrogations se posent.

Ce mémoire présente l'analyse menée autour de ces mutations dans le cadre de mon projet de fin d'études, réalisé au sein de l'équipe immobilier du cabinet de conseil BearingPoint. Il traite les différents aspects qui leur sont liés et explicite la corrélation existant entre elles. Il décrit également la déclinaison de ces tendances sur le marché actuel de l'immobilier tertiaire, à travers des projets de transformation de sièges d'entreprises auxquels j'ai contribué pendant mon projet de fin d'études.

Missions et objectifs

L'immobilier est au cœur de différentes mutations : entre l'optimisation de la consommation énergétique, l'intégration du digital dans les processus de construction et d'ex-

Résumé

La transition énergétique est une orientation à la fois stratégique, opérationnelle et écologique adoptée en France et à l'international. Consommateur majeur de l'énergie, le secteur du bâtiment est directement concerné par ce mouvement. Nombreuses sont les problématiques qui en relèvent : la rénovation énergétique, la conception écologique des bâtiments neufs, etc. La digitalisation présente un large spectre de bénéfices : au-delà d'être un allié de la transition énergétique, il permet également d'améliorer le confort et l'offre de services aux occupants et favorise l'appropriation des nouveaux usages dans les secteurs résidentiel et tertiaire. Ces nouveaux usages traduisent l'évolution des modes d'occupation, en phase avec l'évolution des modes de vie et des modes de travail.



Schéma illustrant la chaîne de valeur associée au *smart building* © Imane Ghazi, 2019.

Real estate at the heart of contemporary changes

Real estate • Energy transition • Digital revolution • Evolution of uses

Context

Diachronically, the French real estate sector has experienced crises and successful phases. Several approaches have marked the analysis of this market: among the legal, the social, and the financial side, it arouses great interest among different actors, namely, researchers, investors, banks, companies, construction contractors and households.

Nowadays, real estate is at the heart of new contemporary changes. In fact, as an occupied space, the building uses and consumes energy. As a property located in a connected urban context, the building is also becoming connected and smart. As an asset that has a daily use-value, the building is transforming its internal fittings to become adapted to new lifestyles and new ways of working.

Far from interacting independently, these mutations have correlations of which it was important to study aspects considering both analytical and practical visions.

Missions and goals

Real estate is at the heart of various mutations: between the optimization of energy consumption, the integration of digital transformation in the construction and exploitation processes of a build-

ing, the evolution of uses associated to building spaces, several questions arise. This report presents the analysis carried out around these mutations as part of my final year project, which was done within the real estate team of the consulting firm BearingPoint. It deals with the different aspects which are linked and explains the correlation existing between them. It also describes the variants of these trends on the current tertiary real estate market, through projects for the transformation of corporate headquarters to which I contributed during my final year project.

Abstract

Energy transition is a strategic, operational and ecological orientation adopted in France and abroad. Being a major consumer of energy, the building sector is directly concerned by this movement. Many initiatives were launched in this context, namely: energy renovation, updating regulations, ecological design of new buildings, but also the digitalization of operating methods. Going digital provides a wide spectrum of benefits: beyond being an ally of the energy transition, it also improves the occupant's comfort, offers services, and encourages the appropriation of new uses in the residential and tertiary sector. These new uses reflect the evolution in tenure patterns, in line with changing lifestyles and work patterns.

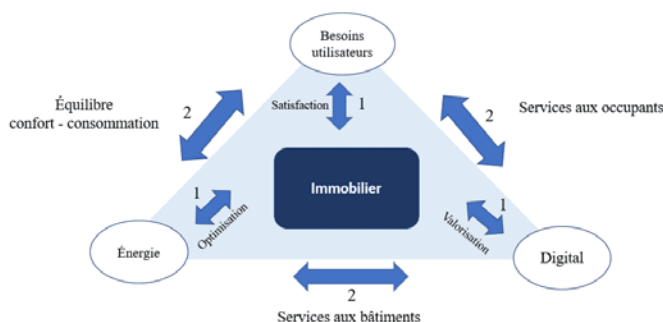


Schéma synthétisant les corrélations entre les mutations contemporaines de l'immobilier © Imane Ghazi, 2019.

- Calcul de structure / éléments finis
- Finite element modelling

- Conception / prototypage
- Design / prototyping

- Évaluation environnementale
- Sustainable engineering

Ingénierie de projet
Project engineering

- Interaction fluide structure
- Fluid-structure interaction

- Matériaux
- Materials

- Mécanique des fluides
- Fluid mechanics

- Mécatronique et robotique
- Mechatronics and robotics

- Modélisation
- Modelling



Yanis MAACHA

Élève ingénieur concours commun

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
WIND my ROOF

Tuteur professionnel et académique • *Organization and Academic Tutor* :
Laurent MAGHDISSIAN, responsable académique du département
Génie mécanique et matériaux, École des Ponts ParisTech



Conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique

Énergie • Électricité • Conversion • Puissance

Contexte

Ce projet de fin d'études a été effectué au sein de WIND my ROOF. Le sujet concerne le pilotage de l'énergie électrique de l'éolienne. Au sein de la start-up, l'ensemble de la mécanique de l'éolienne a été conçue, mais pour gérer l'énergie électrique produite, les compétences manquaient. Lorsque l'on fait de la production d'énergie électrique, la question du pilotage et du contrôle de l'énergie est cruciale. Les concurrents de WIND my ROOF font face à ce même problème : si l'électronique est mal conçue, les éoliennes se mettent soit à tourner trop vite, soit pas du tout, ce qui ne mène qu'à une chose : une production d'énergie sous-optimale.

Missions et objectifs

Dans un premier temps, des essais en soufflerie ont été réalisés : l'éolienne était reliée à un banc d'essai pour pouvoir piloter manuellement l'électronique. Ce banc d'essai a permis d'observer les répercussions sur la production d'énergie. Ces résultats ont été analysés pour réaliser un modèle permettant de concevoir une commande de pilotage de l'électronique et choisir l'électronique associée.

Résumé

La problématique de la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique a été largement déblayée par les professionnels dans le milieu de l'industrie. L'objectif est de comprendre l'ensemble des mécanismes qui entrent en jeu lorsque l'on essaie de produire de l'énergie. Que ce soit avec une turbine hydraulique, une éolienne, ou avec une turbine à vapeur, la problématique est exactement la même : on souhaite convertir de l'énergie. C'est un sujet extrêmement intéressant car pluri-disciplinaire, les connaissances mobilisées relèvent de la mécanique

des fluides et de la mécanique des solides, ainsi que de l'automatique et de l'électronique. On a tendance à penser que c'est un sujet assez complexe, mais en réalité il est compréhensible avec une bonne culture générale en termes de mécanique et d'électronique. Dans le cadre du développement de l'éolienne de WIND my ROOF, j'ai été amené à me poser des questions sur ce sujet, mais je n'ai trouvé personne ayant une vision technique globale capable de m'aiguiller, ce qui m'aurait été bien utile. Je propose donc, dans ce travail, de balayer complètement le terrain de manière à inspirer toute personne ayant lu ce rapport à explorer ce domaine.



Essais en soufflerie © Olivier Flamand, 2019.

Conversion of mechanical to electrical energy

Energy • Electricity • Conversion • Power

Context

This final year project was carried out at WIND my ROOF. The subject concerns the control of the electrical energy of wind turbines. Within the start-up, the complete mechanics of the wind turbine was designed, but to manage the electrical energy produced, skills were lacking. When we speak about production of electrical energy, the question of piloting and controlling energy is crucial. The competitors of WIND my ROOF face the same problem: if the electronics are badly designed, the wind turbines either start to rotate too fast or not at all, which only leads to one thing: a sub-optimal production of energy.

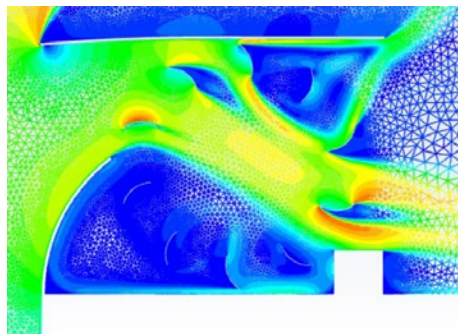
Missions and goals

Initially wind tunnel tests were carried out, the wind turbine was connected to a test bench to manually control the electronic. This test bench was used to observe the repercussions on energy production. These results had to be analyzed to produce a model allowing for the design of an electronic control command and the choice of associated electronics.

Abstract

I'm going to venture into a problem largely treated by professionals in the industry: the conversion of mechanical energy into electrical energy. The goal is to understand all of the mechanisms that come up when trying to produce energy. Whether with a hydraulic turbine, a wind turbine, or a steam turbine the goal is exactly the same: we want to convert energy. It is an extremely interesting sub-

ject because it is multidisciplinary; knowledge used generally goes from fluid mechanics, automation and on to electronics. We tend to think that this is a complex subject but in reality it is understandable with a good general knowledge in terms of mechanics and electronics. As part of the development of the WIND my ROOF wind turbine, I had to ask myself questions about this subject, but generally I could not find anyone who had a global technical vision capable of steering me, which would have been very useful. I therefore propose to share my experience so that everyone who has read this report will be inspired to explore this area.



Simulation CFD © Yanis Maacha, 2020.

• Calcul de structure
• / éléments finis
• Finite element
• modelling

• Conception /
• prototypage
• Design / prototyping

• Évaluation
• environnementale
• Sustainable
• engineering

• Ingénierie de
• projet
• Project engineering

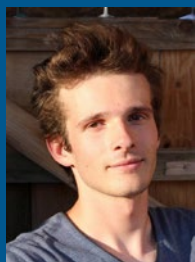
• Interaction fluide
• structure
• Fluid-structure
• interaction

• Matériaux
• Materials

• Mécanique des
• fluides
• Fluid mechanics

• Mécatronique et
• robotique
• Mechatronics and
• robotics

• Modélisation
• Modelling



Max LOUYOT

Élève ingénieur concours commun
Maîtrise recherche en génie aérospatial, Polytechnique Montréal,
Canada

Promotion 2017

Mission recherche réalisée à
Andritz Hydro

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Bernd NENNEMANN, Principal Engineer -
Team Lead CFD/Tools Hydraulic Engineering

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Frédéric GOSSELIN, enseignant, Polytechnique Montréal



Analyse modale de disques en rotation dans un fluide dense

Application aux turbines hydro

IFS • Disque en rotation • Analyse modale •
Séparation de modes • Turbine hydraulique

Contexte

Dans les turbines hydrauliques de haute chute, les interactions rotor-stator sont une source d'excitation inévitable qui doit être prédite avec précision. Une connaissance pointue des caractéristiques dynamiques des turbines, notamment des fréquences naturelles du rotor, est essentielle à la prédiction de résonances potentielles et de l'amplification des vibrations résultantes. Dans ces machines, plusieurs éléments possèdent une structure similaire à un disque, ce qui donne lieu à l'apparition de modes diamétraux et à un phénomène de séparation des fréquences pour lequel aucune méthode de prédiction efficace n'existe à ce jour.

Missions et objectifs

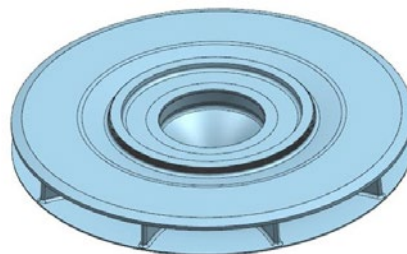
- Développer un modèle analytique et un modèle de mécanique des fluides numérique (MFN) pour les disques en rotation dans un fluide dense, permettant la prédiction précise de la séparation et du décalage des fréquences ;
- en déduire l'origine physique de ces phénomènes. Valider ces modèles par comparaison avec des données expérimentales.

Résumé

L'approche analytique modale pour un disque fournit la forme de l'écoulement potentiel dans le domaine fluide autour de la plaque, permettant la caractérisation des effets du fluide sur les vibrations structurelles. On a déterminé l'expression analytique de la fréquence des ondes

co- et contre-rotatives. En parallèle, on a simulé les vibrations libres de disques en rotation dans un fluide dense avec le solveur fluide Ansys CFX, couplé aux équations structurelles discrétisées, tout en imposant des modes spécifiques aux disques. Les deux modèles concordent avec les données expérimentales.

Ce travail améliore la compréhension des caractéristiques dynamiques des turbines hydrauliques de haute chute permettant d'évaluer l'évolution des fréquences naturelles du rotor avec la vitesse de rotation et la masse ajoutée de l'eau avoisinante, facilitant l'identification des résonances. Les études paramétrique et de stabilité montrent également que le *shift* fréquentiel et l'instabilité de battement ne se produisent pas dans le domaine de fonctionnement des turbines. Chaque modèle constitue un outil rapide pour l'étude préliminaire des vibrations de turbines hydrauliques de haute chute, ainsi qu'un moyen d'explorer l'effet des paramètres en jeu sur la séparation des modes.



Géométrie typique de pompe-turbine, similaire à un disque
© Max Louyot.

Modal analysis of a spinning disk in dense fluid as a model for hydraulic turbines

FSI • Rotating disk • Modal analysis • Mode split •
High head hydraulic turbine

Context

In high head Francis turbines, rotor-stator interactions are an unavoidable source of excitation that needs to be predicted accurately. Precise knowledge of turbine dynamic characteristics, notably of the rotor natural frequencies, is essential to assess potential resonance and resulting amplification of vibrations. In these machines, the disk-like structures of the runner crown and band, as well as the head cover and bottom ring, give rise to the emergence of diametrical modes and a mode split phenomenon for which no efficient prediction method exists to date.

Missions and goals

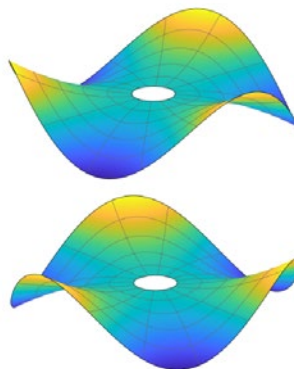
- Develop both an analytical and a numerical computational fluid dynamics (CFD) model for a rotating disk in dense fluid, which accurately predicts the natural frequency split and drift;
- gain insight on the physical origin of the mode split phenomenon. Validate these models by comparison with experimental data.

Abstract

Applying the analytical modal approach to disks gives information on the potential flow in the fluid domain above and below the plate, and further results in the characterization of the fluid effect on structural vibrations. We determined an analytical expression for co- and counter-rotating wave frequencies. Simultaneously, we simulated freely vibrating rotating disks in dense fluid using

Ansys CFX fluid solver, coupled to the discretized structural equations, while imposing specific modeshapes to the disks. Both models are consistent with experimental data.

Our work improves knowledge of the dynamical characteristics of high head hydraulic turbines, by providing means to assess the variation of rotor natural frequencies with rotation speed and added mass of the surrounding water, facilitating resonance identification. Our parametric and stability studies additionally show that frequency drift and flutter instability do not occur within hydraulic turbine operation range. Both models provide fast tools for preliminary studies on high head hydraulic turbine vibrations, and ways to explore parameters influencing mode split.



Modes compagnons d'un disque à 3 diamètres modaux
© Max Louyot.

Calcul de structure
/ éléments finis
Finite element
modelling

Conception /
prototypage
Design / prototyping

Évaluation
environnementale
Sustainable
engineering

Ingénierie de
projet
Project engineering

Interaction fluide
structure
Fluid-structure
interaction

Matériaux
Materials

Mécanique des
fluides
Fluid mechanics

Mécatronique et
robotique
Mechatronics and
robotics

Modélisation
Modelling

Éléments de bibliographie

AMABILI, M., FROSALI, G. et KWAK, M. K., 1996. Free Vibrations of Annular Plates Coupled with Fluids. In : *Journal of Sound and Vibration*. 18 avril 1996. Vol. 191, n° 5, p. 825-846. DOI 10.1006/jsvi.1996.0158.

PRESAS, Alexandre, VALENTIN, David, EGUSQUIZA, Eduard, VALERO, Carme et SEIDEL, Ulrich, 2015. Influence of the rotation on the natural frequencies of a submerged-confined disk in water. In : *Journal of Sound and Vibration*. 17 février 2015. Vol. 337, p. 161-180. DOI 10.1016/j.jsv.2014.10.032.



Youssef BENKABBOUR

Élève ingénieur double diplôme
École Hassania des travaux publics (EHTP), Casablanca, Maroc
Master Durabilité des matériaux et des structures pour l'énergie (DMSE)
Sorbonne Université et École des Ponts ParisTech

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Eiffage Génie Civil

Tutrice professionnelle • *Organization Tutor* :
Sandrine CHANUT, responsable matériau béton

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Jean-Michel TORRENTI, enseignant, IFSTTAR



Étude de faisabilité en vue de réaliser des voussoirs en béton fibré (tunnel de la ligne 16)

Béton fibré • Voussoir • Dispersion des essais

Contexte

Ce projet de fin d'études s'inscrit dans le cadre des chantiers du Grand Paris, et précisément celui de la future ligne 16 qui reliera Noisy-Champs à Saint-Denis Pleyel. Le nouveau tracé ne passera pas par Paris, ce qui se traduit par un gain de temps considérable (26 minutes au lieu de 40 minutes aujourd'hui). Eiffage avait pour ambition de tester la faisabilité d'utilisation du béton fibré pour les voussoirs du tunnel.

Missions et objectifs

Mon projet de fin d'études portait sur une étude de faisabilité en vue d'utiliser des voussoirs en béton fibré au lieu du béton armé. L'étude comporte un dimensionnement en bureau d'études et une large campagne expérimentale (essais mécanique et au feu à l'échelle 1). La variante en question est intéressante d'un point de vue économique, mais également d'un point de vue innovation, puisque ce sera une première en termes de revêtement définitif d'un tunnel.

Résumé

Durant ce projet de fin d'études, j'ai pu endosser plusieurs responsabilités. J'assurais le lien entre le département matériaux, où j'effectuais mon PFE, ainsi que le bureau d'études interne d'Eiffage qui avait pour mission le dimensionnement en béton fibré des voussoirs. Il fallait que les hypothèses de calcul prises correspondent à la réalité des formulations de béton fibré. Dans ce sens, j'étais en charge du suivi d'une large campagne expérimentale (essais de flexion 3 points/essais au feu/essai de compression à l'échelle 1). Tout au long de mon projet de fin d'études, j'ai pu animer plusieurs réunions entre les diffé-

rents interlocuteurs, mais aussi analyser statistiquement les résultats des essais afin d'en tirer des conclusions quant à la dispersion des résultats (dispersion liée principalement aux fibres métalliques). À l'issue de l'étude, la Société du Grand Paris et EGIS, respectivement maître d'ouvrage et maître d'œuvre, ont montré leur vif intérêt pour cette variante, surtout que ce sera la première fois en France que les voussoirs en béton fibré seront utilisés en tant que revêtement définitif d'un tunnel. D'un point de vue économique également, la solution se veut plus rentable comparée à l'utilisation du béton armé. D'un point de vue innovation, cette étude a été bénéfique pour le département DIRM, puisque la question du béton fibré a été abordée plus finement, et elle constituera un retour d'expérience pour d'autres projets, et sur les moyen et long termes une possibilité d'exporter son savoir à l'international.



Voussoirs comme revêtement de tunnel © Anna-m.w., 2017
(source : Pexels).

Feasibility study for the use of fibre-reinforced concrete in precast tunnel segments

Fibre-reinforced concrete • TBM Thrust • Dispersion of the results

Context

My final year project is part of the Greater Paris projects, and precisely that of the future line 16 that will connect Noisy-Champs to Saint-Denis Pleyel. The new road alignment will not pass through Paris, which means a considerable time saving (26 minutes instead of 40 minutes today). Eiffage's aim was to test the feasibility of using fibre-reinforced concrete for precast tunnel segments.

Missions and goals

This report summarizes the feasibility study for the use of precast tunnel segments in fibre-reinforced concrete instead of reinforced concrete. The study includes a design study and a large experimental campaign (full scale tests of mechanical and fire properties). The variant is interesting from an economic point of view, but also from an innovation point of view, since it will be a first in terms of the lining of a tunnel.

Abstract

During this final year project, I took on several responsibilities. I was the link between the materials department, where I was doing my final year project, and the internal design office of Eiffage, which was responsible for the fibre-reinforced concrete design in precast tunnel segments. It was necessary that the taken hypotheses of calculation correspond to the reality of the formulations of concrete. In this sense, I was in charge of monitoring a large experimental campaign (3-points

bending test/fire test/compression test at scale 1). Throughout my final year project, I conducted several meetings between the different stakeholders, and also statistically analyzed the results of the trials in order to draw conclusions about the dispersion of the results (dispersion linked mainly to metallic fibres). At the end of the study, the Société du Grand Paris and EGIS, as building owner and prime contractor, expressed their keen interest in this variant, especially since it will be the first time in France that fiber concrete will be used as a final coating of a tunnel. Also, from an economic point of view the solution is more cost-effective compared to the use of reinforced concrete. Furthermore from an innovation point of view, this study has been beneficial for the DIRM department, since the issue of fibre concrete has been addressed more precisely, and it will be a feedback for other projects. Personally, I learned a lot during this period, both from a technical point of view and a human and relational point of view.



Béton © Life Of Pix, 2014 (source : Pexels).

Calcul de structure / éléments finis
Finite element modelling

Conception / prototypage
Design / prototyping

Évaluation environnementale
Sustainable engineering

Ingénierie de projet
Project engineering

Interaction fluide structure
Fluid-structure interaction

Matériaux
Materials

Mécanique des fluides
Fluid mechanics

Mécatronique et robotique
Mechatronics and robotics

Modélisation
Modelling



Arbia BEN KHODJA

Élève ingénieure double diplôme
École nationale d'ingénieurs de Tunis (ENIT), Tunisie

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Manufacture française des pneumatiques Michelin

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Clément PONCET, analyste performance

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Alain EURLACHER, président du département Génie mécanique et matériaux,
École des Ponts ParisTech



Modélisation par simulation numérique du contact d'un pneumatique agricole avec un sol meuble

Simulation sol meuble • Smoothed-particle hydrodynamics • Critère de plasticité •
Modèle de Drucker-Prager • Dynamique explicite

Contexte

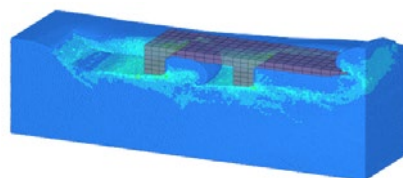
La compaction est l'un des principaux processus de dégradation des sols, qui résulte du passage successif d'engins agricoles de plus en plus lourds, des mécanismes de compression et de cisaillement et donc d'une réduction de la capacité d'aération, d'infiltration et d'enracinement des cultures. L'une des solutions proposées par les manufacturiers est de développer des pneumatiques agricoles roulant à de faibles pressions de gonflage. Mais compte tenu des coûts des tests sur ce type de pneus, le passage aux outils numériques est devenu un objectif majeur. Cependant la simulation des sols meubles est assez complexe, ceci en raison des lois de comportement qui les gouvernent, mais aussi à cause des très grandes déformations qu'ils subissent. Il y a donc une vraie difficulté à mettre au point des outils numériques capables de modéliser ces mécanismes.

Missions et objectifs

- Mettre en place un modèle numérique d'interaction EF/SPH pouvant reproduire un test expérimental réalisé en interne, qui aboutira à un classement des sculptures selon un critère de traction donné ;
- apporter une compréhension aux mécanismes locaux de cisaillement d'un sol meuble pouvant aboutir à des éléments de conception de pneumatiques plus performants.

Résumé

L'objectif de ce projet de fin d'études a été de mettre en place un modèle numérique simulant le contact pneu/sol en utilisant la méthode particulaire SPH et de parvenir à classer différentes géométries de sculpture de pneumatiques sur un critère de traction. L'enjeu a été de choisir la loi matériau/sol la plus pertinente dans notre cas d'étude et de l'alimenter avec les paramètres obtenus lors de tests expérimentaux. L'implémentation au préalable de cas-tests a apporté des éléments de compréhension importants. On a pu déterminer pour chacun des tests de cisaillement direct et de poinçonnement la variante de la loi de Drucker-Prager la plus pertinente. On a notamment trouvé qu'un modèle sans Cap suffisait pour le cisaillement à la boîte et que, à l'inverse, un Cap était indispensable pour pouvoir simuler un test de poinçonnement. Ces cas-tests sont indispensables pour pouvoir calibrer la loi matériau afin de passer à la modélisation du test de compression-cisaillement, qui nous permettra de classer les différentes éprouvettes selon leur critère de performance en traction sur sol meuble. On a pu obtenir des résultats alignés avec les résultats expérimentaux pour un sol limoneux et avec un modèle de Cap dont les paramètres ont été choisis parmi ceux disponibles dans la littérature.



Vue en coupe en fin de cisaillement d'un sol modélisé en SPH avec une éprouvette rigide © Arbia Ben Khodja, 2019.

Numerical analysis of the contact between an agricultural tire and soft soil

Soft soil simulation • Smoothed-particle hydrodynamics • Yield criterion • Drucker-Prager model • Explicit dynamics

Context

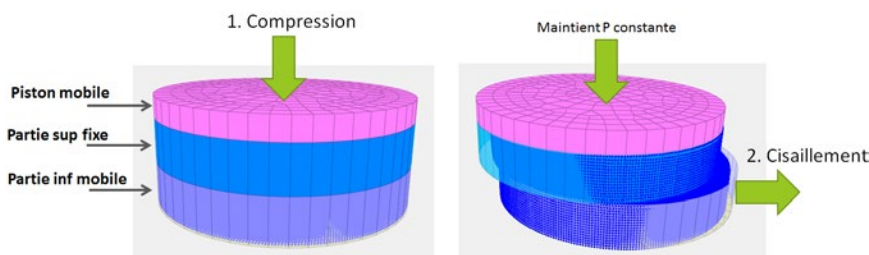
Compaction is one of the main processes of soil degradation, caused by the successive passage of heavy agricultural machines that trigger compression and shearing mechanisms and therefore a reduction in the aeration, water infiltration capacity and rooting of crops. One of the solutions proposed by the manufacturers is to develop agricultural tires able to operate at low inflation pressures. But in view of the costs of testing, the switch to numerical tools has become a major issue. However, the simulation of soft soils is quite complex and this is due to the constitutive relations that govern them, and also because of the very large deformations they undergo. Therefore, there is a real difficulty in finding numerical tools capable of managing this type of mechanics.

Missions and goals

- Implement a coupled EF/SPH model capable of reproducing an experimental test carried out in-company, which will lead to a classification of the sculptures according to a given traction criterion;
- Provide an understanding of the local shear mechanisms of soft soil that can lead to tire design elements.

Abstract

The objective of this final year project was to set up a numerical model simulating the tire/road contact with the SPH particle method and to classify different sculptures on a traction criterion for two different soils. The challenge was to choose the most appropriate constitutive law for the soils and implement it with the parameters obtained during experimental tests. The first test case simulations have greatly increased our understanding. It was possible to determine through each of the shear box and pressure-sinkage tests, the most relevant version of the Drucker-Prager law. In particular, we found that a model without Cap was sufficient for the shear box, and in contrast, that a Cap was essential to simulate the pressure-sinkage test. These test cases are essential in order to calibrate the material parameters and create the appropriate model for the compression-shearing test, which will allow us to classify the different sculptures according to their traction performance on a soft soil. The numerical results obtained on a silty soil with a Cap model set with parameters chosen among external works, matched the experimental results.



Schématisation du test de cisaillement direct (shear box) en SPH © Arbia Ben Khodja, 2019.

• Calcul de structure / éléments finis
• Finite element modelling

• Conception / prototypage
• Design / prototyping

• Évaluation environnementale
• Sustainable engineering

• Ingénierie de projet
• Project engineering

• Interaction fluide structure
• Fluid-structure interaction

• **Matériaux**
• **Materials**

• Mécanique des fluides
• Fluid mechanics

• Mécatronique et robotique
• Mechatronics and robotics

• Modélisation
• Modelling



Clément CORTIER

Élève ingénieur concours commun
Master in Materials Engineering, université de Tokyo, Japon

Promotion 2018

Projet d'ingénieur en laboratoire réalisé à
Materials Engineering Department

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Shoichi NAMBU, Professor

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Laurent MAGHDISSIAN, responsable académique du département
Génie mécanique et matériaux, École des Ponts ParisTech



Prédiction du comportement des métaux dits « TRIP Steels »

Aciers TRIP • Plasticité Cristalline • Méthode Éléments Finis

Contexte

Ce projet de fin d'études a pris place dans le cadre du double diplôme avec le département Materials Engineering de l'université de Tokyo. Il correspond au travail en laboratoire sur 2 ans et au mémoire de Master nécessaire à l'obtention du diplôme d'ingénieur à l'université de Tokyo. Nous faisons partie d'un laboratoire et étions sous la tutelle d'un professeur de l'université pour mener nos travaux de recherche en lien avec les thématiques du laboratoire.

Missions et objectifs

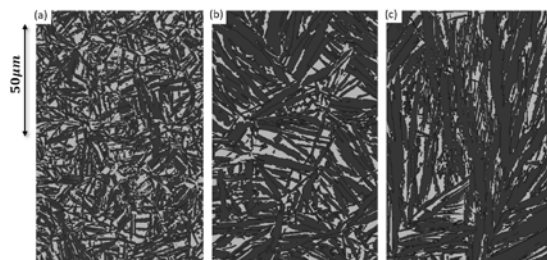
L'objectif principal était de proposer un modèle éléments finis pour décrire la plasticité cristalline des aciers TRIP ainsi que le changement de phase qui a lieu pendant la déformation du matériau. Ce travail de recherche incluait également une partie expérimentale afin de comparer les résultats numériques aux observations expérimentales.

Résumé

Les aciers dits « à transformation induite par déformation plastique » (TRIP) sont des métaux offrant une bonne combinaison entre ductilité et résistance à la traction, ainsi qu'une grande capacité à s'écraser. Les performances de cet acier sont liées à l'existence de plusieurs phases dont celle de l'austénite métastable (FCC) qui se transforme graduellement en martensite (BCC), plus résistante, pendant la déformation plastique. Ces aciers sont étudiés dans l'industrie automobile où ils peuvent être utilisés comme composants structurels. Leur étude s'effectue souvent avec l'objectif de réduire le poids des pièces et ainsi diminuer la consommation du véhicule. Ces aciers ont une microstructure complexe composée d'austénite métastable intégré dans une matrice de bainite, de

martensite et de ferrite non bainitique. Afin de contrôler les performances de cet acier, la transformation induite par déformation plastique doit être clarifiée, ainsi que la résistance de l'austénite à la transformation. Par exemple, une plus haute concentration en carbone augmente à la fois la concentration volumique d'austénite et sa stabilité pendant la déformation du matériau. Des études expérimentales ont montré que beaucoup d'autres paramètres affectent cette stabilité tels que l'orientation cristallographique, la taille des grains et leur morphologie et enfin la composition chimique en général, mais rarement en montrant l'impact sur la déformation du matériau.

Cette étude a pour objectif de comprendre l'effet TRIP dans l'austénite métastable en étudiant d'une part la transformation des grains d'austénite par observation *in situ* pendant des tests de traction, et d'autre part, en proposant un modèle éléments finis de plasticité cristalline (CPFEM) qui tient compte de cette transformation de phase. Une comparaison entre l'étude expérimentale et l'étude numérique est proposée afin de confirmer ou de rejeter le modèle numérique proposé.



Cropped EBSD maps of three samples with different austenitization conditions: a) 950C for 5min, b) 1000C for 5min and c) 1000C for 20min. The FCC grains are shown in light grey, and the BCC grains in dark grey © Clément Corthier, 2019.

Prediction of the deformation induced martensitic transformation behavior in TRIP Steel

TRIP Steel • Crystal Plasticity • FEM

Context

While pursuing a double degree at Tokyo University, this final year project was a two-year study necessary to obtain the master degree from Tokyo University. It consisted of experimental and theoretical research work in a laboratory of the Materials Engineering department.

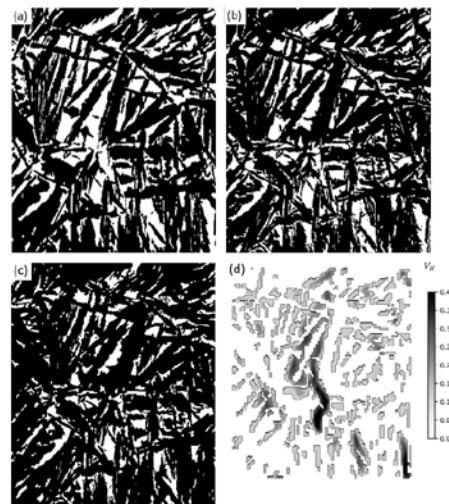
Missions and goals

The objective of this research was to design constitutive equations to describe the deformation of Transformation-Induced Plasticity steel and propose a finite element analysis based on those equations. This study also included experimental analyses in order to confirm or reject the numerical analysis.

Abstract

Transformation-Induced Plasticity (TRIP) steels offer a marvelous combination of high ductility and high strength. In fact, this class of multi-phase steels shows high strain hardening capacity thanks to the existence of retained austenite (FCC) which gradually transforms into strong martensite (BCC) under plastic deformation. Hence, being easily manufactured in complex shapes, they are used by automotive industries as structural components. The high strain hardening capacity relies on its complex microstructure composed of metastable retained austenite embedded in a matrix of bainite, martensite and sometimes ferrite. In order to control the performance of such steel, the transformation behavior of the metastable phase needs to be clarified. A higher carbon content, while giving a higher strength to the martensite, increases greatly the stability and the volume fraction of the metastable retained austenite.

Experimental studies have shown that many factors affect the stability such as chemical composition, crystallographic orientation, grain morphology or size. However, the effect of these factors on the deformation behavior has not been well clarified yet. Therefore this research aims at understanding the transformation behavior of metastable austenite, first through experimental observation of in-situ tensile tests, and secondly by proposing a Crystal Plasticity Finite Element Model (CPFEM) which predicts the deformation of TRIP steels. A comparison between the experimental and the numerical analysis was performed in order to confirm or disprove any conclusion drawn numerically.



(a)-(c) EBSD maps at respectively 0%, 5% and 10% elongation. The FCC grains are shown in white, and the BCC grains in black. The last one (d) shows the prediction of martensitic volume fraction VM in the FCC grains after 10% elongation © Clément Corthier, 2019.

Éléments de bibliographie

XIONG, X. C., CHEN, B., HUANG, M. X., WANG, J. F. et WANG, L., 2013. The effect of morphology on the stability of retained austenite in a quenched and partitioned steel. *Scripta Materialia* (en ligne), 2013, vol. 68, n° 5, pp. 321-324. DOI 10.1016/j.scriptamat.2012.11.003 [consulté le 27 avril 2020].

PATEL, J. R. et COHEN, M., 1953. Criterion for the action of applied stress in the martensitic transformation. *Acta Metallurgica* (en ligne), 1953, vol. 1, n° 5, pp. 531-538. DOI 10.1016/0001-6160(53)90083-2 [consulté le 27 avril 2020].

HUANG, Yonggang, 1991. *A user-material subroutine incorporating single crystal plasticity in the ABAQUS finite element program*. Mechanical Report 178. Cambridge, Massachusetts, États-Unis : Harvard University.

• Calcul de structure / éléments finis
• Finite element modelling
• Conception / prototypage
• Design / prototyping

• Évaluation environnementale
• Sustainable engineering

• Ingénierie de projet
• Project engineering

• Interaction fluide structure
• Fluid-structure interaction

• Matériaux
• Materials

• Mécanique des fluides
• Fluid mechanics

• Mécatronique et robotique
• Mechatronics and robotics

• Modélisation
• Modelling



Adrien HOGREL

Élève ingénieur concours commun, double diplôme
Master de recherche, université de Tokyo, Japon

Promotion 2018

Mission recherche réalisée à
Laboratoire Miyata, université de Tokyo

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Kanjiro MIYATA, Assistant Professor, université de Tokyo

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Amina ALAOUI-SOULIMANI, enseignante, laboratoire Navier, École des Ponts
ParisTech



Hydrogels et complexes poly-ioniques vésiculaires

Nanoparticules • Polymères • Acide phénylboronique • Hydrogels • Médicaments

Contexte

En septembre 2017, j'ai intégré le laboratoire du professeur Miyata, du département Matériaux de l'École d'ingénierie de l'université de Tokyo. Pendant deux ans, la recherche a occupé la majeure partie de mon temps, y dédiant en moyenne 30h par semaine en première année, 40 en deuxième. Le résultat a été la production d'un mémoire de master, soutenu en juillet 2019.

Missions et objectifs

Le laboratoire Miyata se concentre sur l'étude de nouveaux vecteurs de nanomédicaments, à base de polymères. Mon objectif a été de créer un matériau nanostructuré pour administrer des médicaments via des micro-aiguilles, de manière continue et contrôlée, notamment des immunothérapies. Mon travail a été en grande partie expérimental, de l'identification des fonctions chimiques à l'étude des matériaux obtenus (structure, mécanique, etc.), en passant par la synthèse des polymères.

Résumé

Contrairement à la majorité des projets de fin d'études, qui ont duré 6 mois, le mien a duré deux ans.

Néanmoins, l'objectif initial est resté le même du début à la fin : obtenir un matériau qui pourrait relarguer des molécules pharmaceutiques de manière prolongée et contrôlée. En effet, pour des thérapies cancéreuses ou en immunothérapie, la cinétique d'administration a un impact certain sur l'efficacité du traitement.

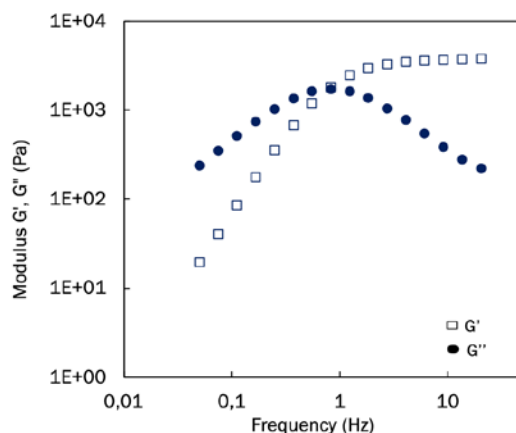
En parallèle, les micro-aiguilles (MA) sont un moyen d'administration prometteur. Ces MA doivent pouvoir libérer leur charge de manière contrôlée, tout en démontrant des propriétés mécaniques suffisantes pour pénétrer la peau. Les hydrogels à base de polymères sont d'intéressants candidats pour former des MA.

Cependant, le contrôle du relargage de médicaments antigéniques depuis la matrice de l'hydrogène demeure

un défi. Mon objectif a été d'encapsuler des nanovésicules dans l'hydrogel, afin de servir de réservoirs de médicaments (cf. Illustration 1). J'ai choisi un hydrogel dont la matrice était dégradabile, sensible à une variation de la concentration en glucose et en pH du milieu.

Cette étude a mis en évidence un matériau prometteur, avec deux profils de relargage : d'une part, les molécules directement emprisonnées dans l'hydrogel ont été relâchées plus vite, via un processus de diffusion ; d'autre part, les molécules chargées à l'intérieur des nano-vésicules ont été libérées plus lentement, via un processus de dégradation de la matrice puis des vésicules. La combinaison de ces deux mécanismes a mené un relargage hautement prolongé et contrôlé.

Le résultat a été une « preuve de concept » (proof of concept) d'un nouveau matériau destiné à être appliqué dans le milieu médical, afin d'améliorer l'efficacité de diverses thérapies.



Analyse mécanique dynamique de l'hydrogel tetra-PEG-glucono-D-lactone / tetra-PEG-acide-phénylboronique, avec balayage en fréquence à température constante et déformation fixée © Adrien Hogrel, 2019.

Vesicular polyion complex-encapsulated hydrogel for sustained drug release

Nanoparticles • Polymers • Phenylboronic acid • Hydrogel • Drug release

Context

I joined Miyata Laboratory in September 2017, at the beginning of my double degree program, which is part of the department of Materials Engineering. From then, I spent most of my time carrying out research in order to complete my Master of Research. As such, the master thesis produced is an illustration of what I learnt during these two years.

Missions and goals

Miyata Laboratory focuses on the study of new nanocarriers for anti-cancer drugs and other DNA-based therapies. When I joined the team, my goal was the creation of a new kind of material, a hydrogel which would integrate nanovesicles (called PICsomes). I decided to physically trap these ones in the hydrogel matrix. My work was mostly experimental, from the synthesis of polymers to the study of the hydrogel structure and the stability of the nanoparticles.

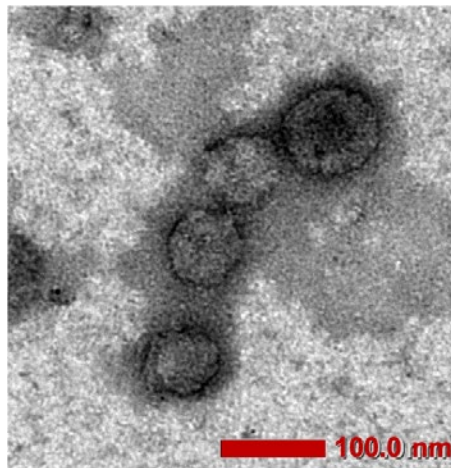
Abstract

Self-dissolving polymer microneedles (MN) are an interesting candidate to deliver drugs directly via the dermal tissue, while avoiding pain for patients. They need to exhibit controlled degradation profiles, with good mechanical strength to penetrate into the skin. Hydrogels are attractive candidates to form MN because of their ability to encapsulate hydrophilic molecules. Meanwhile, immunotherapy has attracted much attention because of its potential as a new vaccination technique. It was shown that sustainable and controlled release of antigen drugs can increase the therapeutic efficacy. However, the controlled release of antigen drugs from hydrogel matrix remains a

key challenge. To overcome the above issues in MN-mediated immunotherapy, this study aimed to encapsulate nanosized vesicles in the hydrogel as drug reservoirs (cf. Illustration 1). The hydrogel matrix was made degradable, responsive to pH and glucose concentration.

The goal of this study was to display two different drug release kinetic profiles: drugs directly encapsulated in the hydrogel matrix were quickly released out via diffusion, while drug-encapsulated PICsomes were slowly released after degradation of the hydro-gel matrix. The combination of the two release mechanisms allowed for highly sustainable and controlled release properties.

In the end, the feasibility of the above mentioned hierarchical structure was demonstrated, as a proof of concept.



Observation de vésicules (PICsomes) par microscopie électronique en transmission © Adrien Hogrel, 2019.

Éléments de bibliographie

SAKAI, Takamasa, MATSUNAGA, Takuro, YAMAMOTO, Yuji, *et al.*, 2008. Design and Fabrication of a High-Strength Hydrogel with Ideally Homogeneous Network Structure from Tetrahedron-like Macromonomers. *Macromolecules* [en ligne], 2008, vol. 41, n° 14, pp. 5379-5384. DOI 10.1021/ma800476x [consulté le 27 avril 2020].

YESILYURT, Volkan, AYOUB, Andrew M., APPEL, Eric A., *et al.*, 2017. Mixed Reversible Covalent Crosslink Kinetics Enable Precise, Hierarchical Mechanical Tuning of Hydrogel Networks. *Advanced Materials* [en ligne], 2017, vol. 29, n° 19. DOI 10.1002/adma.201605947 [consulté le 27 avril 2020].

MATSUMOTO, Akira, TANAKA, Miyako, MATSUMOTO, Hiroko, *et al.*, 2017. Synthetic "smart gel" provides glucose-responsive insulin delivery in diabetic mice. *Science Advances* [en ligne], 2017, vol. 3, n° 11. DOI 10.1126/sciadv.aag0723 [consulté le 27 avril 2020].

• Calcul de structure / éléments finis
• Finite element modelling

• Conception / prototypage
• Design / prototyping

• Évaluation environnementale
• Sustainable engineering

• Ingénierie de projet
• Project engineering

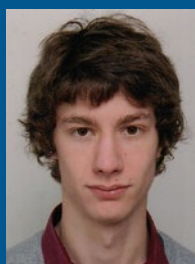
• Interaction fluide structure
• Fluid-structure interaction

• Matériaux
• Materials

• Mécanique des fluides
• Fluid mechanics

• Mécatronique et robotique
• Mechatronics and robotics

• Modélisation
• Modelling



Léo VIALLON-GALINIER

Élève ingénieur Polytechnique
Master Analyse multi-échelle pour les matériaux et les
structures (AMMS), Sorbonne Université et École des Ponts ParisTech

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Direction générale de la Prévention des risques,
ministère de la Transition écologique et solidaire

Tutrice professionnelle • Organization Tutor :
Catherine CALMET, Adjointe au chef de bureau des risques naturels terrestres

Tuteur académique • Academic Tutor :
Éric BRUN, directeur de l'ONERC, ministère de la Transition
écologique et solidaire



Prise en compte des risques d'origine glaciaire et périglaciaire

Risques naturels • Réchauffement climatique •
Risques glaciaires • Risques périglaciaires

Contexte

Ce projet de fin d'études s'inscrit dans le cadre de l'émergence ou de l'intensification de risques naturels, identifiés par la direction générale de la Prévention des risques du ministère de la Transition écologique et solidaire.

Missions et objectifs

Le but du projet de fin d'études est à la fois de faire un état des lieux de l'avancée des connaissances sur ces risques (compréhension de la physique des phénomènes, prédictibilité d'occurrence, emprises) et d'étudier la possibilité de leur prise en compte par des politiques publiques adaptées, au niveau des services de prévention des risques mais également des services de sécurité civile et dans les orientations de recherche nationales.

Résumé

Les risques d'origine glaciaire et périglaciaire rassemblent les phénomènes liés à l'évolution des milieux englacés, notamment leur fonte dans un contexte de changement climatique : il s'agit des risques liés aux glaciers et au pergélisol. Ces risques ne sont pour l'heure pas suffisamment pris en compte dans les politiques publiques, alors qu'ils peuvent générer des dégâts importants. Néanmoins, leur spécificité (manque de connaissances sur les phénomènes, importance et rapidité des événements attendus) en fait un vrai défi. Ils sont pourtant amenés à devenir de plus en plus importants, avec la montée des températures

notamment. L'État doit donc se préparer à l'émergence de ces risques : c'est pourquoi la direction générale de la Prévention des risques propose de coordonner l'élaboration d'un plan interministériel pour la prévention et la gestion des risques d'origine glaciaire et périglaciaire. L'objet de ce projet de fin d'études est d'apporter les éléments de contexte et des propositions pour l'intégration des risques d'origine glaciaire et périglaciaire dans un plan interministériel.



Glacier rocheux du Laurichard (Villard d'Arène, Hautes-Alpes) © X. Bodin 2005, CC-BY-SA (source : Wikimedia Commons).

Taking into account glacial and peri-glacial hazards

Natural hazards • Climate change • Permafrost • Glacier hazards

Context

This final year project was proposed in the context of the emergence and intensification of natural hazards related to permafrost and glaciers, identified by the Directorate General for risk prevention at the french Ministry of Ecology.

Missions and goals

The aim of this final year project was to propose an inventory of knowledge on these risks (physical phenomena, predictability of occurrence and impacted areas) and to study the possibility of including the management of these risks in different public policies, from risk prevention to public safety and national research orientations.

Abstract

Glacial and periglacial hazards aggregate all phenomena involving the evolution of frozen areas, especially their melting due to climate change, that is to say all risks linked to glacier and permafrost. Currently, these hazards are not really taken into account in French public policies, whereas they can generate significant damages. Their specificity (lack of knowledge on pheno-

mena, sudden occurrences of large-scale events) make the handling of glacial and periglacial hazard a real challenge. Yet, these hazards are likely to become more and more important, especially with global warming. The French government should anticipate the emergence of these hazards: that is why the General directorate for risk prevention proposes to coordinate the elaboration of an interdepartmental plan for handling glacial and periglacial hazards. The aim of this master thesis is to contextualise and to make proposals for the integration of glacial and periglacial hazards into an interdepartmental plan.



Glaciers des Bossons et de Taconnaz (Haute-Savoie) © Léo Viallon-Galinier, 2016.

Éléments de bibliographie

- NAAIM-BOUVET, Florence et RICHARD, Didier, 2015, *Les Risques naturels en montagne*. Versailles, France : Éditions Quae, 392 p.
- DELALOYE, R., LAMBIEL, C. et GÄRTNER-ROER, I., 2010. Overview of rock glacier kinematics research in the Swiss Alps. *Geographica Helvetica*, 2010, vol. 65, n° 2, p. 135-145. DOI 10.5194/gh-65-135-2010.
- FAILLETTAZ, Jérôme, FUNK, Martin et VINCENT, Christian, 2015. Avalanching glacier instabilities: Review on processes and early warning perspectives. *Reviews of Geophysics*, 2015, vol. 53, n° 2, p. 203-224. DOI 10.1002/2014RG000466.
- MAGNIN, Florence, JOSNIN, Jean-Yves, RAVANEL, Ludovic, PERGAUD, Julien, POHL, Benjamin et DELINE, Philip, 2017. Modelling rock wall permafrost degradation in the Mont Blanc massif from the LIA to the end of the 21st century. *The Cryosphere*, 2017, vol. 11, n° 4, p. 1813-1834. DOI 10.5194/tc-11-1813-2017.

• Calcul de structure
• / éléments finis
• Finite element
• modelling

• Conception /
• prototypage
• Design / prototyping

• Évaluation
• environnementale
• Sustainable
• engineering

• Ingénierie de
• projet
• Project engineering

• Interaction fluide
• structure
• Fluid-structure
• interaction

• Matériaux
• Materials

• Mécanique des
• fluides
• Fluid mechanics

• Mécatronique et
• robotique
• Mechatronics and
• robotics

• Modélisation
• Modelling



Xue YANG

Élève ingénieure ParisTech

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Faurecia Interior SystemsConseiller scientifique • Organization Tutor :
Oussama BENGHABRIT, Global team leader, GTS DFA & CockpitTuteur académique • Academic Tutor :
Laurent MAGHDISSIAN, responsable académique du département
Génie mécanique et matériaux, École des Ponts ParisTechÉcole des Ponts
ParisTech

Caractérisation du processus du vissage dans les thermoplastiques

Vissage • Thermoplastiques • DoE

Contexte

Quand les géométries des pièces serrées ont toutes été bien conçues en fonction des différents facteurs d'influence, il reste deux variables essentielles qui décident du succès du serrage dans les thermoplastiques : le couple appliqué et les sollicitations externes. Le couple appliqué définit l'effort de compression dans la structure qui doit résister à celle-ci pendant le cycle de vie du produit. Un couple faible peut entraîner le dévissage des pièces pendant leur durée de vie, tandis qu'un couple important peut entraîner le décapage du ScrewBoss (SB) ou la détérioration de la structure, donc la rupture du joint. Appliquer le bon couple de serrage correspondant à la sollicitation externe est donc primordial afin de garantir un assemblage robuste et d'éviter une perte importante pour l'entreprise.

Missions et objectifs

Selon les analyses précédentes, pour les thermoplastiques, il n'y a pratiquement pas de modèles théoriques applicables au serrage, ce projet de fin d'études s'appuie donc sur une approche expérimentale et statistique. L'objectif du projet est de caractériser le processus de serrage dans les thermoplastiques pour garantir la conception de serrage appropriée du premier coup, tout en tenant compte de variables telles que la géométrie, les matières premières, les vis, les sollicitations externes, la relaxation du couple dans le temps, etc. À terme, un outil pédagogique standard sera déployé sous Excel pour guider les ouvriers dans l'application du bon couple de serrage en fonction des différentes situations et demandes.

Résumé

La mission est de caractériser le processus du vissage dans les thermoplastiques par une méthodologie expérimentale, qui nous aide à trouver la relation empirique entre le couple appliqué du vissage, la géométrie des pièces, la sollicitation externe, etc. Basé sur une étude existant du type de vis PT5x16, ce projet traite du type de vis PT5x20 en mettant en œuvre les améliorations et les nouveaux équipements.

Plus précisément, le plan complet choisi pour le plan d'expérience du projet est le suivant : le capteur Flexiforce A401 d'une épaisseur de 0,2 mm est introduit comme système d'acquisition de la force de pression ; une méthode de rognage est développée pour intégrer le capteur à la structure, en préservant ses performances ; le système d'acquisition Power Focus 6000 est ajouté dans le système pour fournir des informations plus détaillées concernant le couple appliqué sous format .png pendant le processus du vissage ; un logiciel *home-made* est développé en Python pour extraire automatiquement les couples sur les images (.png). La force de pression formée par le vissage nous permet de trouver la sollicitation externe maximum à laquelle l'assemblage peut résister pendant sa durée de vie.

D'après l'analyse des données, les modèles statistiques linéaires sur l'engagement de la vis et le couple appliqué sont définis. L'interface utilisateur graphique est disponible sur Excel pour donner le couple appliqué conseillé.



$$F = a_0 + a_1.T + a_2.E + a_3.T^2 + a_4.E^2 + a_5.E.T$$

Defined statistical model - PT5x20 © Xue Yang, 2019.

Tightening characterization in thermoplastics

Tightening • Thermoplastics • DoE

Context

When the geometries of tightened parts have all been well designed according to the various influential factors, there are still two essential variables which decide the success of tightening in the thermoplastics: the applied torque and the external solicitations. Applied torque defines the compression effort in the structure which is to resist the latter one during the product life cycle. A low torque can lead to unscrewing of parts during their lifetime, while a large torque can cause the stripping of SB or the deterioration of the structure, thus the joint failure. Both are not acceptable for a robust assembly and could lead to a large loss for the company.

Missions and goals

According to the previous analyses, for thermoplastics, there are barely no applicable theoretical models for tightening, this program is based on experimental and statistical methodology. The project target is to characterize the tightening process in thermoplastics to guarantee the appropriate tightening design for the first try while considering variables such as geometry, raw materials, screws, external solicitations, torque relaxation over time etc. And, later, a standard instructive tool will be deployed in Excel to guide the workers in the factory to apply the right tightening torque according to the different situations and demands.

Abstract

This project took place with the GTS cockpit & DFA group in the research and development (R&D) center of Faurecia in Méru (France). The main mission of this project is to characterize the tightening process in thermoplastics by the experimental methodology, which helps us to find the empirical relationship between the applied torque of the screwing, the geometry of the parts, the external stress, etc. Based on the existing study on the screw type PT5x16, the improvements and new equipment was implemented in this project of the screw type PT5x20.

More specifically, the design of experiment (DoE) is chosen as a complete plan; the Flexiforce sensor A401 (FLX A401) with a thickness of 0.2mm is introduced as an acquisition system for the pression force formed between parts; a trimming method is developed for this sensor to be integrated into the structure while preserving its performance; the power Focus 6000 acquisition system is added to provide more detailed information of the applied torque in .PNG during the tightening process; a home-made software using Python is developed to automatically extract the information of the images (.PNG). The pression force helps to define the maximum external solicitation that the assembled structure could resist during its life cycle.

After the analyses of data, the linear statistic models on the engagement of the screw and the applied torque are defined. The graphic user interface (GUI) is available in Excel.

• Calcul de structure
• / éléments finis
• Finite element
• modelling

• Conception /
• prototypage
• Design / prototyping

• Évaluation
• environnementale
• Sustainable
• engineering

• Ingénierie de
• projet
• Project engineering

• Interaction fluide
• structure
• Fluid-structure
• interaction

• **Matériaux**
• **Materials**

• Mécanique des
• fluides
• Fluid mechanics

• Mécatronique et
• robotique
• Mechatronics and
• robotics

• Modélisation
• Modelling



Baptiste LAFOUX

Élève ingénieur concours commun, étudiant-entrepreneur
Master Fluid Mechanics, École polytechnique et Sorbonne Université

Promotion 2019

Début de doctorat réalisé à
IMSIA

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Benjamin COTTÉ, enseignant-chercheur

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Damien VIOLEAU, enseignant, LHSV



École des Ponts
ParisTech

Aérodynamique et acoustique du décrochage

Application au bruit des éoliennes

Éoliennes • Aéroacoustique • Bruit de décrochage •
Décrochage dynamique • Expérimental

Contexte

Ce début de doctorat a été réalisé au sein de l'Institut des sciences de la mécanique et applications industrielles, le laboratoire de mécanique de l'ENSTA, dans l'équipe de Benjamin Cotté (acoustique, propagation). Les travaux ont été financés par l'Agence nationale de la recherche dans le cadre du projet PIBE (Prévoir l'impact du bruit des éoliennes).

Missions et objectifs

L'angle d'attaque d'une pale d'éolienne varie continûment et de manière périodique au cours de la rotation de cette dernière : c'est le décrochage dynamique. Ce phénomène peut produire un bruit particulier, de basse fréquence, potentiellement dérangent pour les riverains. L'origine de cette nuisance sonore est encore mal comprise d'un point de vue physique : notre objectif est d'établir expérimentalement un lien entre comportement aérodynamique et émissions acoustiques.

Résumé

On propose une expérience de décrochage dynamique en soufflerie : on modifie au cours du temps l'angle d'attaque d'un profil d'aile dans un écoulement, en le faisant osciller de manière périodique sur son axe d'envergure, et on mesure sa portance. Les paramètres physiques contrôlables sont la fréquence et l'amplitude de rotation ainsi que la vitesse du vent incident. Cette expérience permet de mettre en évidence que l'angle de décrochage et de raccrochage varient avec la fréquence de rotation : la pale décroche plus tard (et raccroche plus tôt) si son angle d'attaque change plus rapidement. On observe également un supplément de portance maximale (*overshoot*) allant jusqu'à 40% de la portance mesurée dans le cas statique. Ce phénomène est connu et rapporté par la littérature sur le sujet : il permet notamment aux bourdons de voler alors que leurs ailes sont toujours en décrochage et ne devraient donc pas fournir une portance suffisante. L'étude de l'influence de l'amplitude des variations d'angle d'attaque révèle un comportement similaire. On propose un nombre adimensionnel prenant en compte ces deux facteurs physiques : il décrit efficacement le phénomène de décrochage, mais pas le raccrochage et l'*overshoot*.

Stall aerodynamics and acoustics

Application to wind turbines

Wind turbine • Aeroacoustics • Stall noise •
Dynamic stall • Experiments

Context

This thesis is carried out at the Institute of Mechanical Sciences and Industrial Applications, the mechanical laboratory of ENSTA, in the team of Benjamin Cotté (acoustics, propagation). This work is funded by the National Research Agency as part of the PIBE project (Predicting the impact of noise from wind turbines).

Missions and goals

The angle of attack of a wind turbine blade varies continuously and periodically during its rotation: this is the dynamic stall. This phenomenon can produce a particular noise, of low frequency, potentially disturbing for the nearest residents. The origin of this noise nuisance is still poorly understood from a physical point of view: our objective is to establish experimentally a link between aerodynamic behavior and acoustic emissions.

Abstract

After analyzing the existing bibliography on the subject of stall noise and the aerodynamics of cyclical stall, we propose a dynamic stall experiment in a wind tunnel. The angle of attack of a wing profile in a flow is modified over time by rotating it sinusoidally on its vertical axis, and its lift is measured. The controllable physical parameters are: the frequency and amplitude of rotation and the speed of the incident wind. This experiment shows that the angle of stall and de-stall varies with the frequency of rotation: the blade stalls later (and de-stalls earlier) if its angle of attack changes more quickly. One also observes an additional maximum lift (overshoot) of up to 40% of the lift measured in the static case; this phenomenon is known and reported by the literature on the subject. In particular, it allows bumblebees to fly while their wings are constantly stalling and should therefore not provide sufficient lift. A study of the influence of the amplitude of the variations in angle of attack reveals a similar behavior. We propose an adimensional number taking into account these two physical factors: it effectively describes the phenomenon of stalling, but not the de-stall and overshoot.

Éléments de bibliographie

LACAGNINA, Giovanni, CHAITANYA, Paruchuri, BERK, Tim, KIM, Jung-Hoon, JOSEPH, Phillip, *et al.*, 2019. Mechanisms of airfoil noise near stall conditions. *Physical Review Fluids* [en ligne], 2019, vol. 4, n° 12. DOI 10.1103/PhysRevFluids.4.123902 [consulté le 07.05.2020].

MULLENERS, Karen et RAFFEL, Markus, 2013. Dynamic stall development. *Experiments in Fluids* [en ligne], 2013, vol. 54, n° 2, p. 1469. DOI 10.1007/s00348-013-1469-7 [consulté le 07.05.2020].

MCCROSKEY, W.J., CARR, L.W. et MCALISTER, K.W., 1976. Dynamic Stall Experiments on Oscillating Airfoils. *AIAA Journal* [en ligne], 1976, vol. 14, n° 1, p. 57-63. DOI 10.2514/3.61332 [consulté le 07.05.2020].

• Calcul de structure
• / éléments finis
• Finite element
• modelling

• Conception /
• prototypage
• Design / prototyping

• Évaluation
• environnementale
• Sustainable
• engineering

• Ingénierie de
• projet
• Project engineering

• Interaction fluide
• structure
• Fluid-structure
• interaction

• Matériaux
• Materials

• Mécanique des
• fluides
• Fluid mechanics

• Mécatronique et
• robotique
• Mechatronics and
• robotics

• Modélisation
• Modelling



Clémentine GAS

Élève ingénieure concours commun
Master Sustainable Energy Engineering,
Institut royal de technologie (KTH), Stockholm, Suède

Promotion 2018

Mission recherche réalisée à :
UCAR, JCSDA

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Yannick TREMOLET, Scientist

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Paul PETRIE-REPAR, enseignant, KTH



Algorithme de Lanczos par bloc pour l'assimilation de données

Assimilation de données • Méthode ensembliste • Lanczos • Modèle QG

Contexte

La prévision météorologique numérique repose sur deux composantes principales : des modèles de prévision atmosphérique et des algorithmes d'assimilation de données. L'assimilation de données est le processus utilisé pour produire la meilleure estimation de l'état d'un modèle à l'aide d'un modèle numérique et d'observations. Cette « meilleure estimation » constitue alors une condition initiale précise du modèle.

Missions et objectifs

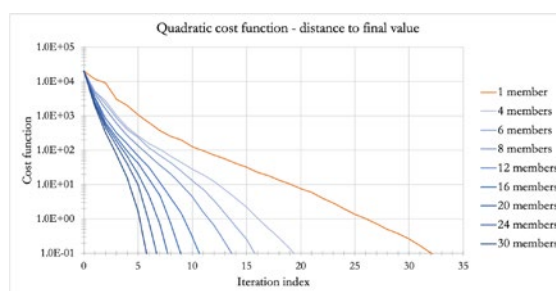
Ce projet consiste à implémenter un algorithme d'assimilation de données, l'algorithme de Lanczos par bloc, dans le cadre de l'initiative JEDI (Joint Effort for Data assimilation Integration) et à démontrer la pertinence de la technique avec l'utilisation du modèle « jouet » quasi-géostrophique (QG).

Résumé

De plus en plus d'applications de prévisions météorologiques nécessitent des estimations de l'incertitude des prévisions, voire une distribution de probabilité complète, pour éclairer la prise de décision. Une estimation de la distribution de probabilité de l'analyse peut être obtenue en générant un ensemble d'analyses. Pour chaque membre de l'ensemble, toutes les entrées du processus d'assimilation sont perturbées de manière aléatoire en fonction de leurs statistiques d'erreur respectives. Chaque instance d'assimilation de données est un problème d'optimisation et, dans le contexte de l'assimilation de données d'ensemble, de nombreux problèmes d'optimisation presque identiques sont résolus. Jusqu'à présent, ces problèmes

sont résolus indépendamment les uns des autres, en utilisant par exemple un algorithme de Lanczos. Cependant, il est possible d'utiliser les informations de tous les membres pour construire une meilleure approximation de la structure propre de la matrice au cœur du problème d'optimisation et ainsi accélérer la convergence. L'algorithme de Lanczos par bloc est l'une des méthodes par bloc existantes pour résoudre un ensemble d'assimilation de données.

Les résultats montrent que lorsque l'on compare les résultats d'un Lanczos et d'un Lanczos par bloc, deux effets se font concurrence : le bloc nécessite moins d'itérations pour converger, mais chaque itération prend plus de temps. Le temps de convergence le plus rapide est atteint avec environ 16 membres. Cependant, nous rencontrons toujours quelques problèmes et il faut réfléchir davantage aux types d'opérateurs (matrices de statistiques d'erreur) que nous utilisons dans l'algorithme de bloc, ou celui-ci diverge.



Convergence de la fonction de coût quadratique en fonction du nombre de membres dans le bloc Lanczos © Clémentine Gas, 2019.

Block Lanczos Algorithm in Variational Data Assimilation

Variational Data Assimilation • Block methods • Lanczos • QG model

Context

Numerical weather prediction relies on two major components: sophisticated atmospheric forecast models and equally important data assimilation algorithms. Data assimilation (DA) is the process used to produce the best estimate of the state of a model, using an Earth system numerical model and observations. This "best estimate" will then be an accurate initial condition of the model.

Missions and goals

This project consists of implementing the block Lanczos algorithm in the Joint Effort for Data Assimilation Integration (JEDI) framework and demonstrate the relevance of the technique with the use of the Quasi-Geostrophic model (QG).

Abstract

More and more applications of weather or weather-related forecasts (such as air quality) require estimates of the uncertainty in the forecasts, or even full probability distribution, to inform decision making. An estimate of the probability distribution of the analysis can be obtained by generating a set of analyses. For each member of the set, all inputs to the assimilation process are perturbed randomly according to their respective error statistics. Each data assimilation instance is an optimization problem and in the context of Aggregate Data Assimilation, many almost identical optimization problems are solved. Until now, these problems have been solved independently of each other, using for example a Lanczos algorithm. However, it is possible to use information from all the members to construct a better approximation of the eigen-structure of the matrix

at the heart of the optimization problem, and accelerate the convergence. The block-Lanczos algorithm is one of the block methods which exists to solve an Aggregate Data Assimilation

Results show that when comparing a Lanczos and a block Lanczos, two effects compete against each other: the block requires less iterations to converge but each iteration takes more time. The fastest convergence time is reached when using around 16 members. However, some issues are still encountered and require us to look more in depth into the kind of operators we use in the block algorithm or it is subject to divergence.



Grid for quasi-geostrophic atmospheric model © National Oceanic and Atmospheric Administration, 2012. CCo (source: Wikimedia Commons).

- Calcul de structure / éléments finis
- Finite element modelling
- Conception / prototypage
- Design / prototyping
- Évaluation environnementale
- Sustainable engineering
- Ingénierie de projet
- Project engineering
- Interaction fluide structure
- Fluid-structure interaction
- Matériaux
- Materials
- Mécanique des fluides
- Fluid mechanics
- Mécatronique et robotique
- Mechatronics and robotics
- Modélisation
- Modelling

Éléments de bibliographie

FISHER, Mike, 2018. *A Two Level Quasi-Geostrophic Model*. ECMWF.

MERCIER, F., MICHEL, Y., MONTMERLE, T., JOLIVET, P. et GÜROL, S., 2020. *Block methods for solving an ensemble of data assimilations* [en ligne]. 4th Data Assimilation Task Team meeting (DA-TT), janvier 2020. Disponible sur : https://www.godae.org/-godae-data/OceanView/Events/DA-TT-2020/2.6-seminar_dat.pdf [consulté le 11 mars 2020].



Zakariya LOULOU

Élève ingénieur concours commun
Aerospace and Aeronautics Département, université de Tokyo

Promotion 2018

Mission recherche réalisée à
Université de Tokyo

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Tomohiro YOKOZEKI, professeur

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Jean-François CARON, enseignant, École des Ponts ParisTech



Effets du comportement viscoélastique sur la forme de structures bistables

Bistabilité • Viscoélasticité • Matériaux Composites • Homogénéisation

Contexte

Ces dernières années, des éléments bistables sont de plus en plus employés dans l'industrie aérospatiale pour construire de larges structures, facilement stockables. Ces structures sont stables dans deux configurations géométriques différentes (pliée et déployée) et peuvent passer de l'une à l'autre sans intervention extérieure. Lors de missions passées, ces structures ont montré des comportements mécaniques imprévus que l'on cherche à mieux comprendre.

Missions et objectifs

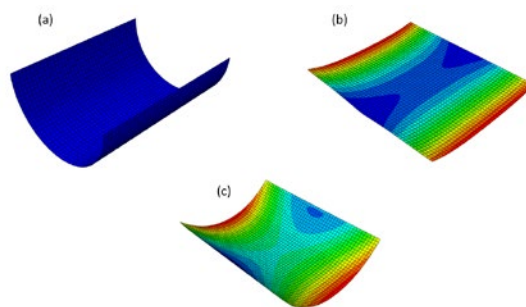
Mon projet de fin d'études s'est alors concentré sur l'étude de l'impact du comportement viscoélastique des résines, utilisées dans les matériaux composites, sur la forme globale de la structure. L'objectif est de développer un outil permettant de designer les structures déployables en prenant en compte ce comportement mécanique particulier, et ainsi éviter des performances imprévues en mission.

Résumé

Une méthode de design numérique a été développée pour prédire le comportement de ces structures. Une homogénéisation sur deux niveaux (microscopique et macroscopique) a été utilisée pour déterminer l'évolution du comportement mécanique des matériaux composites en fonction du temps. Cette évolution a ensuite été intégrée dans un logiciel de calcul contenant un modèle représentant une structure bistable typique, dans le but de déterminer les effets du stockage à longue durée dans une configuration contrainte.

Les résultats ont été validés grâce à une comparaison avec des essais expérimentaux effectués en laboratoire. Neufs spécimens différents ont été stockés dans un four gardé à une température constante de 60°C dans leur configuration pliée. Régulièrement, les spécimens ont été déployés et photographiés dans le mode déployé pour suivre l'évolution de la géométrie de section des semi-cylindres. Le comportement viscoélastique a la particularité de montrer des évolutions similaires à courte durée et haute température, ou à longue durée et basse température.

L'outil numérique développé et ses résultats ont fait l'objet d'une publication scientifique et ont été présentés lors de conférences scientifiques internationales. Il est maintenant possible de prédire avec précision le comportement de ces structures : forme géométrique, comportement mécanique et dynamique à long terme.



Modèle numérique d'une structure bistable : passage de la forme déployée stable (a) à un régime transitoire (b), puis à la forme pliée stable (c) © Zakariya Loulou, 2019.

Impact of viscoelastic behavior on the deployed shape accuracy of bistable tape springs

Bistability • Viscoelasticity • Composite Materials • Homogenization

Context

Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) composites have been of great interest during the last decades, in a wide range of applications. The light weight and valuable fatigue properties, the excellent specific strength and toughness allow them to replace more and more other heavier materials like metals. These materials have also been used to develop bistable structures, useful especially in the flowering field of self-deployable structures.

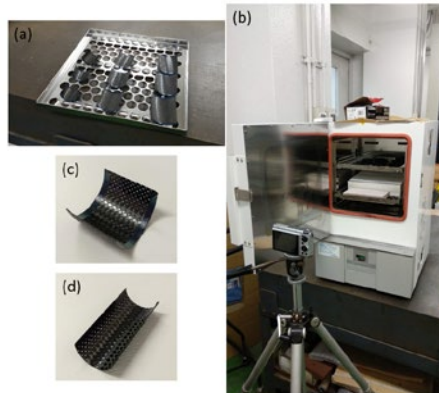
Missions and goals

My research project was focused on the evaluation of the impact of viscoelastic behaviors of materials, used in composites, on the overall structure's geometry and properties. The main purpose was to develop a numerical tool taking into account viscoelastic effects, in order to design bistable structures more efficiently and prevent unexpected behaviors.

Abstract

The research aims to develop an efficient and comprehensive numerical process capable of determining the evolution of the shape after deployment of such structures due to viscoelastic relaxation occurring during a stressed configuration. A two-step homogenization process is devised to compute the plain weave mechanical properties. The process is first based on an analytical model to determine the strand's properties, involving the isotropic viscoelastic mechanical properties of the matrix and the orthotropic elastic properties of the carbon fibers. Then, using a finite element based numerical model, the plain weave

pattern ABD matrix is determined. Along each calculation, properties are fitted with Prony series to display the variations over different time ranges, taking advantage of the rheologically simple behavior of the matrix. Results from this homogenization are then used in a numerical model to predict the deployed shape evolution of the tape springs, and its recovery capabilities after full deployment. Validity of the model is checked using results from experimental stowage conducted on bistable tape springs. Our main goal is to provide tools for designing self-deployable structures taking into account relaxation due to stowage prior to launch. Using this model, engineers could predict the shape and mechanical properties after years of storage, and validate if the new structure state could bear missions' dynamic and mechanical behaviour.



Processus de stockage à haute température : 9 spécimens sont pliés (a) et stockés dans un four (b). Les deux configurations stables sont celle qui est pliée (c) et celle qui est déployée (d) © Zakariya LOULOU, 2019.

- Calcul de structure / éléments finis
- Finite element modelling
- Conception / prototypage
- Design / prototyping
- Évaluation environnementale
- Sustainable engineering
- Ingénierie de projet
- Project engineering
- Interaction fluide structure
- Fluid-structure interaction
- Matériaux
- Materials
- Mécanique des fluides
- Fluid mechanics
- Mécatronique et robotique
- Mechatronics and robotics

Modélisation
Modelling

Éléments de bibliographie

HASHIN, Z., 1972. *Theory of fiber reinforced materials* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19720014282> [consulté le 27 avril 2020].

Ingénierie mathématique et informatique

Applied Mathematics and Computer Science

Le département IMI spécialise des ingénieurs en deux ans sur des thématiques de modélisation et de simulation ; cela implique des connaissances mathématiques de haut niveau, une pratique de l'informatique et une maîtrise des outils classiques de la simulation et de la modélisation numérique.

Enjeux

L'augmentation conjointe des quantités de données et des puissances de calcul bouleverse les attentes de la société en général, et des entreprises en particulier, en matière d'informatique et de mathématiques :

- tous les secteurs liés à la société du numérique (véhicule autonome, robotique, traitement du langage, systèmes de recommandation sur Internet) mettent en œuvre des algorithmes de prise de décision qui utilisent des techniques de l'apprentissage statistique ;
- dans l'ingénierie des systèmes industriels, les modèles utilisés pour la simulation se complexifient parce que les besoins d'optimisation explosent. Ils doivent être couplés afin de prendre en compte des phénomènes complexes, de nature différente et permettre des simulations plus fiables ou plus riches, plus précises ou plus rapides ;
- les domaines d'applications se diversifient avec notamment la biologie et la médecine pour lesquels la simulation complète significativement les connaissances des experts ;
- le monde de la finance et de l'assurance évolue également sous l'influence des régulateurs (normes prudentielles) mais aussi des situations nouvelles (risques liés aux variations climatiques) avec le traitement automatique des données des marchés.

La formation

La formation du département s'organise autour de quatre parcours :

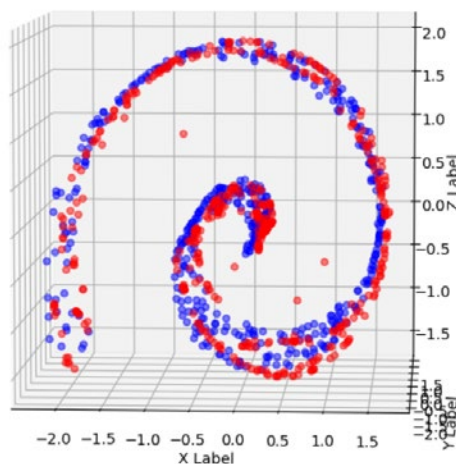
- le parcours « Probabilités et finance » permet la maîtrise des outils mathématiques et des méthodes numériques pour la modélisation des titres financiers et la gestion des risques ;
- le parcours « Modélisation, analyse et simulation » permet la maîtrise de l'étude théorique et numérique des problèmes modélisés par des équations provenant de domaines variés tels que la physique, les sciences de l'ingénieur, la chimie, la biologie, l'économie ainsi que les méthodes de calcul scientifique ;

- le parcours « Optimisation » permet la maîtrise des méthodes, modèles et outils informatiques et mathématiques visant à optimiser des processus industriels, en particulier ceux relevant de la supply chain ;
- le parcours « Vision et apprentissage » permet la maîtrise des concepts mathématiques en analyse, EDP, géométrie, probabilités et statistiques pour étudier les thèmes de recherche actuels en vision, audition, théorie de l'apprentissage et intelligence des données, imagerie médicale.

Chacun de ces parcours propose un choix de cours électifs, offerts par le département IMI ou par d'autres départements de spécialisation.

Il est possible d'obtenir parallèlement au diplôme d'ingénieur un master recherche :

- Modélisation, analyse et simulation (MAS),
- Mathématiques appliquées en finances (MAF),
- Probabilités et modèles aléatoires (PMA),
- Mathématiques, vision, apprentissage (MVA),
- Master parisien de Recherche opérationnelle - parcours Optimisation (MPRO).



Génération de données artificielles avec les GANs (Generative Adversarial Networks) © Adrien Le Franc, 2018.



Éric Duceau
.....
Président
Department Head



Manon Baudel
.....
Responsable
académique
Academic Head



Sandrine Guillem
.....
Inspectrice des études
Academic Advisor



Aurélie Mortier
.....
Assistante polyvalente
Department Assistant

Via a two-year program, the Applied Mathematics and Computer Science (IMI) department educates engineers to build models, analyse their properties and perform numerical simulations. It offers a high level of mathematical training and solid knowledge in computer science.

Challenges

The rise of computing power, as well as access to large data sets are changing society's expectations with respect to mathematics and computer science:

- all sectors related to the digital society (self-driving car, robotics, language processing, Internet recommendation systems) implement algorithms that use machine learning techniques;
- in industrial systems engineering, the models used for simulation are becoming more complex because the need for optimization is exploding. They must be coupled in order to take into account complex phenomena of different nature and allow more reliable or richer, more accurate or faster simulations;
- the fields of applications are diversifying, particularly in biology and medicine, where simulations significantly complement the knowledge of experts;
- the world of finance and insurance is also evolving under the influence of regulators (prudential regulation) but also of new situations (climate change risks) with the automatic processing of market data.

Program structure

Four different programs are proposed:

- *Probabilities and Finance*: to master the techniques of quantification and risk coverage on the financial markets. Both mathematical tools and numerical methods are studied in this program;
- *Modelling, Analysis and Simulation*: to master the theoretical and numerical study of problems modelled by equations from various fields such as physics, engineering sciences, chemistry, biology, economics and scientific calculation methods;

- *Optimisation*: to master methods, models, mathematical tools aimed at optimising industrial processes, particularly those relating to the supply chain;
- The "Vision and Learning" program provides an advanced mathematical training in analysis, PDEs, geometry, probability, and statistics, used in the study of current research on vision, hearing, learning and information theory, biological and medical imaging.

Each of these programs offers a choice of elective courses, offered by the department or by other departments.

It is possible to obtain a research master's degree in parallel to the engineering degree:

- *Modelling, Analysis and Simulation (MAS)*,
- *Applied Mathematics in Finance (MFD)*,
- *Probability and Random Models (PMA)*,
- *Mathematics, Vision, Learning (MVA)*,
- *Parisian Master's degree in Operational Research - Optimization (MPRO)*.



Négociation autour du projet de département © David Delaporte - École des Ponts ParisTech.

Laboratoires partenaires

Research partnerships



CERMICS

Centre d'Enseignement et de Recherche en Mathématiques et Calcul Scientifique. Thématiques : mathématiques appliquées, calcul scientifique, modélisation, optimisation.

Research Center in Mathematics and Scientific Computing. Themes: applied mathematics, scientific computing, modeling, optimization.



LIGM

Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge. Thématiques : algorithmes et architectures pour l'analyse et la synthèse d'images ; combinatoire algébrique et calcul symbolique ; logiciels, réseaux et temps réel ; modèles et algorithmes ; signal et communication.

Gaspard Monge Computer Science Laboratory. Themes: algorithms and architectures for image analysis and synthesis; algebraic combinatorics and symbolic computation; software, networks and real time; models and algorithms; signal and communication.

Les projets de fin d'études

Final Year Projects

Apprentissage statistique • Machine learning

AFILAL KHANSAA | Automatisation de l'analyse financière et adaptation du modèle de notation des assurances
Financial analysis automation and optimisation of insurers' rating model

ALBERGE LÉO | Localisation anatomique des anévrismes aortiques
Anatomical localization of aortic aneurysm in CT scans with contrast

AUGUSTE CHARLES | Apprentissage par arbres sous contraintes monotones
Monotone constraints for gradient boosting

CHOMEL VICTOR | Propagation des *fake news* dans les réseaux sociaux
Fake news propagation in social networks

CLIVIO OSCAR | Machine learning et biologie : excès de zéro pour données scRNA-seq
Machine learning and biology: zero-inflation for scRNA-seq data

CORVISIER JEAN-CHRISTOPHE | Apprentissage par renforcement pour la robotique
Reinforcement Learning for Robotics

DELORO YONATAN | Un algorithme auto-apprenant pour la compréhension du langage des robots conversationnels
A self-learning algorithm for language understanding of conversational bots

DUCHEMIN QUENTIN | Estimation des paramètres en imagerie par résonance magnétique *fingerprinting* via *deep learning*
Parameter estimation in Magnetic Resonance fingerprinting via deep learning

HARIAT MARWANE | Compression de réseaux de neurones profonds
Compression of Deep Neural Networks

KHELDOUNI MOHAMMED AMINE | Algorithmes de *machine learning* pour les risques financiers
Machine Learning algorithms for the Enterprise & Financial Risk Management

KOSKAS RÉMY | Détection d'empreintes cosmologiques dans les halos de matière noire simulés
Detection of cosmological imprints in simulated dark matter halos

OREISTEIN PIERRE | Variational Online Newton : algorithme efficace de calculs bayésiens
Variational Online Newton: Efficient Algorithm for Bayesian Computations

PARRE ANATOLE | Mettre les systèmes de recommandation à l'échelle
Scaling Recommender Systems

PETIT ROMAIN | Modèles de mélange et super-résolution de signaux parcimonieux sans grille
Off the grid sparse super-resolution for parameter estimation in mixture models

RENGOT JULIETTE | Donner à un robot le sentiment d'être observé

Endowing a robot with the sense of being watched

TILLOY LOUIS | Classification de modèles 3D avec réseaux de neurones convolutionnels et *transformers*
Classification of 3D models using Convolutional Neural Networks and Transformers

Modélisation numérique et simulation • Numerical modelling and simulation

FLAMENCOURT BRICE | Asymptotique spectrale pour des interactions delta à point de rebroussement
Spectral asymptotics for delta interactions supported by curves with cusps

KEMLIN GASPARD | Analyse théorique et numérique d'algorithmes pour le calcul de structure électronique
Theoretical and numerical analysis of some algorithms for electronic structure

ZHAO TONG | Reconstruction de Surfaces Progressive avec Shape Priors
Progressive Surface Reconstruction with Shape Priors

Optimisation et recherche opérationnelle • Optimization and operations research

FRANÇOIS ANTOINE | Évaluer la résolution du problème du voyageur de commerce par le *Deep Learning*
Evaluate solutions for the traveling salesman problem when solving with Deep Learning

RIGAL OLIVIER | Résolution de problèmes à variables mixtes au sein de LocalSolver
Resolution of mixed-variables problems at LocalSolver

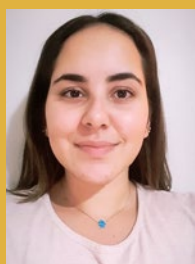
Processus stochastiques et finances quantitatives • Stochastic processes and mathematical finance

HARDY CLÉMENT | Bandes de confiance pour données fonctionnelles
Confidence bands for functional data

Vision numérique • Computer vision

KASHTANOVA VICTORIYA | Changement d'apparence d'images par *deep learning*
Deep Learning approach to changing the image appearance

LEINER EMMA | Apport de l'intelligence artificielle aux pronostics médicaux en histologie
The input of AI for medical prognoses in the field of histology



Khansaa AFILAL

Élève ingénieure double diplôme
École Mohammadia d'ingénieurs, Rabat, Maroc

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
BNP Paribas

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Camilo ROMERO, Head of Insurance Credit Team

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Emmanuel BOUTRON, enseignant, École des Ponts ParisTech



Automatisation de l'analyse financière et adaptation du modèle de notation des assurances

Assurance • Analyse financière • Notation • Solvabilité

Contexte

Mon projet de fin d'études, au sein de la fonction Group Risk de BNP Paribas, consistait à automatiser les analyses financières des contreparties assurantielles, ainsi qu'à améliorer le système de notation de ces entités. Le projet est scindé en deux parties. La première étant dédiée à l'étude des facteurs clés constituant le canevas de l'analyse financière des compagnies d'assurance, et la seconde axée sur la mise en place d'un modèle simplifié de notation des assurances pour déterminer le niveau de solvabilité.

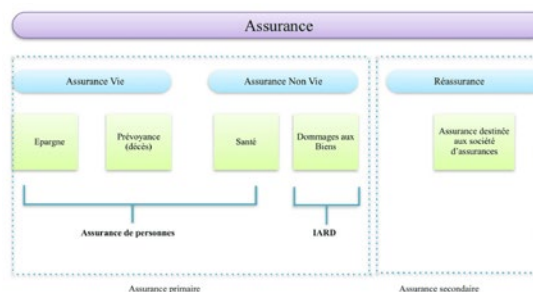
Missions et objectifs

Dans un premier temps, il s'agissait d'étudier et de découvrir l'entité d'accueil ainsi que le périmètre de l'assurance. Puis j'ai analysé le besoin et les enjeux et j'ai défini les objectifs du projet pour ensuite réaliser une collecte d'informations et une sélection des indicateurs. Après cette collecte, je me suis focalisée sur la conception et la mise en place d'un outil de *reporting* automatique permettant de rendre disponible une analyse financière complète et rapide, pour enfin procéder à la génération d'un *rating* des contreparties assurantielles permettant de mieux évaluer leur santé financière.

Résumé

Le projet consistait tout d'abord à mettre en évidence la structuration et les facteurs clés de l'analyse financière des compagnies d'assurance, qui présentent une forme différente des autres institutions et firmes. L'objectif était de fournir aux analystes, de manière automatique, une première synthèse quantitative des indicateurs de perfor-

mance les plus pertinents. L'outil utilisé lors de cette phase est Visual basic for Application. Il s'agissait ensuite de mettre en place un modèle de notation de ces entités par l'intermédiaire de la régression logistique, en vue d'optimiser le processus de prise de décision. Cette phase a été réalisée avec le logiciel R Studio. Le projet s'est initié par l'étude du cadre général de travail dans le but de mieux comprendre les enjeux du sujet à traiter. Suite à cette première initiation, la définition des objectifs et enjeux était plus aisée et efficace pour le dessin du schéma directeur du projet de fin d'études. L'étape suivante était la collecte des données nécessaires au bon déroulement et à la réalisation des objectifs fixés. Ces données sont précisément des indicateurs d'analyse financière essentiels, utilisés à la fois pour livrer un outil de *reporting* automatique, et pour générer un *rating* des contreparties. Le résultat de mon travail est une contribution destinée à l'entité risque assurance de BNP Paribas, responsable de la valorisation du *risk appetit* vis-à-vis des compagnies d'assurances, en leur offrant un outil simple qui fournit des rapports d'analyse financière et ainsi que des notations adaptées.



Segmentation des domaines de l'assurance © Khansaa Afilal, 2019.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Financial analysis automatisation and optimisation of insurers' rating model

Insurance • Financial analysis • Rating • Solvability

Context

My project, which took place within BNP Paribas Group Risk function, consists in automating the financial analysis of insurance counter-parties and improving the rating system of these entities.

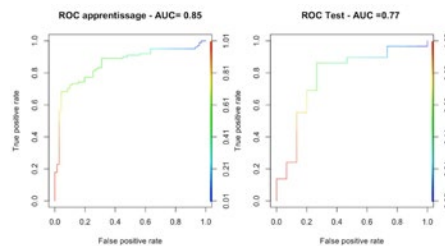
Missions and goals

The aforementioned project is divided into two essential parts. The first one is designed to highlight the structure and the key factors of insurance companies' financial analysis, which has a different form from other institutions and firms, in order to provide automatically to the analysts a first quantitative synthesis containing the main performance indicators. The tool used during this phase is Visual Basic for Application. The second part aims to set up a scoring model for these same entities through logistic regression, in order to optimize the decision-making process.

Abstract

The aforementioned project is divided into two essential parts. The first one is designed to highlight the structure and the key factors of insurance companies' financial analysis, which has a different form from other institutions and firms, in order to provide automatically to the analysts a first quantitative synthesis containing the main performance indicators. The tool used during

this phase is Visual Basic for Application. The second part aims to set up a scoring model for these same entities through logistic regression, in order to optimize the decision-making process. In this phase Studio R was used, as the appropriate tool. In the first step, I started with the study and discovery of the host entity and the scope of the insurance. Then, I analyzed the needs, the stakes and the objectives of the project, then carried out a collection of relevant information and a valid choice of indicators. I went through the design and implementation of an automatic reporting asset, to finally proceed to the generation of a counter-party rating. The result of my work is a contribution to the insurance risk entity of BNP Paribas, responsible for valuing the risk appetite regarding insurance companies, by offering them a simple tool that provides financial analysis reports as well as adapted ratings.



Courbes ROC des échantillons apprentissage et test © Khansaa Afilal, 2019.

Éléments de bibliographie

- Insurance credit team. *Insurance Sector reference documents*. BNP Paribas, 300 p.
- Insurance credit team. *Processus de notation des assurances*. BNP Paribas, 250 p.
- Insurance credit team. *Management des risques*. BNP Paribas, 100 p.



Léo ALBERGE

Élève ingénieur concours commun
Master Mathématiques, vision, apprentissage (MVA)
École des Ponts ParisTech et ENS Paris-Saclay

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Hôpital Marie Lannelongue

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Pr. Dominique FABRE, chirurgien vasculaire

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pascal MONASSE, chercheur, LIGM, équipe Imagine, École des Ponts ParisTech



Localisation anatomique des anévrismes aortiques

Apprentissage-profond • Imagerie médicale • Optimisation • Segmentation

Contexte

L'anévrisme de l'aorte est une pathologie fréquente et parfois mortelle (en cas de rupture). Les anévrismes à risque sont notamment ceux dont le diamètre maximum excède 55 mm et ceux qui croissent rapidement en taille (plus de 5 mm en 6 mois). Le dépistage de ces signes passe par la réalisation régulière d'un scanner afin de mesurer le diamètre aortique. Ces mesures permettent de poser l'indication opératoire et/ou de vérifier après la pose d'une prothèse l'efficacité du traitement ou d'une intervention chirurgicale. Les mesures de diamètre aortique et leur comparaison dans le temps se font actuellement de manière manuelle ou semi-automatique. Cette tâche est chronophage pour les chirurgiens vasculaires et la réalisation de mesures manuelles possède une variabilité et une reproductibilité qu'il serait souhaitable d'améliorer.

Missions et objectifs

L'objectif de ce projet de fin d'études est l'automatisation des mesures de diamètres sur des scans CT injectés pour le suivi de patients. Les enjeux sont d'être capables de mesurer de façon précise le diamètre de la paroi externe de l'aorte dans les différentes sections aortiques de manière complètement automatique. Pour se faire, les objectifs sont d'extraire la ligne centrale aortique, de segmenter sémantiquement les zones anatomiques de l'aorte et enfin de labéliser la ligne centrale pour pouvoir calculer les diamètres par zone anatomique.

Résumé

Dans le but de créer une base de données pour l'entraînement de modèles d'apprentissage machine, nous avons développé un outil d'annotation de plans en 3D qui a permis la construction d'une base de données d'aorte, segmentées sémantiquement en différentes zones ana-

tomiques. Nous avons ensuite développé des architectures réseaux de neurones profonds pour la segmentation sémantique en 3D et expérimenté ces architectures et fonctions de coûts différentes pour notre tâche de segmentation sémantique. Nous avons implémenté une méthode sous-pixellique d'extraction du squelette de l'aorte basé sur la théorie des chemins minimaux.

Enfin nous avons formulé un problème d'optimisation pour attribuer en chaque point de cette ligne centrale un label anatomique unique. Ceci nous a permis de construire une méthode complètement automatique pour la mesure des diamètres externes de l'aorte dans ses différentes zones anatomiques.



Exemple d'une segmentation anatomique de l'aorte © Léo Alberge, 2020.

Anatomical localization of aortic aneurysm in CT scans with contrast

Deep Learning • Medical-imaging • Optimization • Skeletonization

Context

Aortic aneurysm is a common and sometimes fatal condition (if ruptured). The aneurysms at risk are notably those whose maximum diameter exceeds 55 mm and those that grow rapidly in size (more than 5 mm in 6 months). Screening for these signs requires regular CT scans to measure the aortic diameter. These measurements make it possible to establish the operative indication and/or to check the effectiveness of the treatment or surgery after the fitting of a prosthesis. Aortic diameter measurements and their comparison over time are currently performed manually or semi-automatically. This is a time-consuming task for vascular surgeons, and manual measurements have a variability and reproducibility that should be improved.

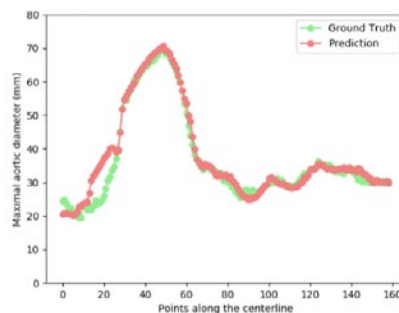
Missions and goals

The objective of the final year project is the automation of diameter measurements on injected CT scans for patient follow-up. The challenges are to be able to accurately measure the diameter of the outer wall of the aorta in the different aortic sections in a completely automatic way. To do so, the objectives are to extract the aortic central line, to segment semantically the anatomical zones of the aorta and finally to label the central line in order to be able to calculate the diameters per anatomical zone.

Abstract

In order to create a database for the training of machine learning models, we developed a 3D plan annotation tool that allowed the construction of a database of aorta semantically segmented into different anatomical zones. We then developed deep neural network architectures for 3D semantic segmentation and experimented with these architectures and functions at different costs for our semantic segmentation task. We implemented a sub-pixelated method for aortic skeletal extraction based on the minimal path theory.

Finally, we formulated an optimization problem to assign a unique anatomic label to each point of this central line. This allowed us to construct a fully automatic method for the measurement of the external diameters of the aorta in its different anatomical zones.



Exemple de l'évolution du diamètre le long de la ligne centrale © Léo Alberge, 2020.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Éléments de bibliographie

LÓPEZ-LINARES, Karen, ARANJUELO, *et al.*, 2018. Fully automatic detection and segmentation of abdominal aortic thrombus in post-operative CTA images using Deep Convolutional Neural Networks. *Medical Image Analysis* [en ligne], 2018, vol. 46, pp. 202-214. DOI 10.1016/j.media.2018.03.010 [consulté le 7 avril 2020].

BERTRAND, Hadrien, 2019. *Hyper-parameter optimization in deep learning and transfer learning : applications to medical imaging* [en ligne]. Thèse de doctorat : université Paris-Saclay. Disponible à l'adresse : <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-02089414> [consulté le 7 avril 2020].

LU, Jen-Tang, BROOKS, Rupert, *et al.*, 2019. DeepAAA: Clinically Applicable and Generalizable Detection of Abdominal Aortic Aneurysm Using Deep Learning. In : *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention - MICCAI 2019*. Cham : Springer International Publishing, pp. 723-731.



Charles AUGUSTE

Élève ingénieur concours commun
Master Mathématiques, vision, apprentissage (MVA)
École des Ponts ParisTech et ENS Paris-Saclay

Promotion 2018

Mission recherche réalisée à
Susquehanna International Group

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Ivan SMIRNOV, *Quantitative researcher*

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pascal MONASSE, chercheur, École des Ponts ParisTech



Apprentissage par arbres sous contraintes monotones

Apprentissage • Arbres • Monotonie • LightGBM • Finance

Contexte

L'entraînement de modèles d'apprentissage basés sur des données bruitées (comme en finance) peut être amélioré par l'ajout d'hypothèses *a priori* sur le résultat attendu. Faire l'hypothèse de la monotonie de la variable à prédire par rapport à certaines variables d'entraînement permet de régulariser et d'améliorer les prédictions. Cette hypothèse est très utile ; on attend par exemple que le prix d'un appartement augmente avec sa taille.

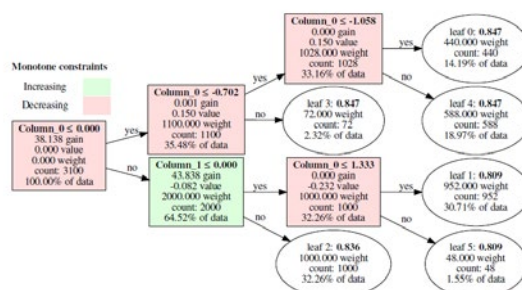
Missions et objectifs

- Recherche d'une méthode permettant de garantir la monotonie du résultat par rapport à certaines variables d'entraînement lors de la construction d'un arbre. Celle-ci doit être rapide et consommer peu de mémoire par rapport à l'algorithme initial. Elle doit être peu contraignante pour ne pas diminuer le pouvoir prédictif de l'algorithme initial ;
- implémentation à partir de la librairie LightGBM ;
- tests sur différents jeux de données.

Résumé

- Lecture d'articles de recherche sur les implémentations existantes de contraintes monotones pour différents algorithmes d'apprentissages, basés sur des arbres, ou autres (régressions, réseaux de neurones...);
- interactions avec différents membres de l'équipe ayant travaillé sur des sujets similaires. L'ajout d'hypothèses *a priori* à des algorithmes d'apprentissage courants est une pratique commune permettant d'améliorer le pouvoir prédictif des méthodes ;
- utilisation de problèmes jouets, comme les contraintes monotones pour la régression linéaire ;

- recherche et évaluation de différentes méthodes et idées. Il existe de nombreuses façons de s'assurer que des contraintes monotones soient respectées. Ces méthodes n'ont cependant pas un pouvoir prédictif équivalent ;
- implémentation basée sur la librairie LightGBM, en C++. LightGBM est une librairie Open Source d'algorithmes d'apprentissage à base d'arbres. Elle est connue pour sa rapidité et son efficacité. C'était un terrain idéal pour s'assurer du bon fonctionnement de nos méthodes ;
- tests de l'efficacité des contraintes, de rapidité et de pouvoir prédictif, sur différents jeux de données. L'objectif était d'avoir une méthode fonctionnelle, rapide, qui consomme peu de mémoire et qui améliore le pouvoir prédictif de l'algorithme d'apprentissage. L'objectif a été atteint et les prédictions obtenues avec la méthode choisie sont meilleures sur tous les jeux de données que nous avons testés ;
- comparaison avec d'autres méthodes de la littérature.



Decision tree sample © Charles Auguste, 2019.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Monotone constraints for gradient boosting

Machine learning • Gradient boosting • Monotonicity •
LightGBM • Finance

Context

The training of machine learning models based on noisy data (e.g. in finance) can be improved by adding prior hypotheses on the expected result. Enforcing monotonicity of the predictions with respect to some of the training variables can improve predictions and remove some of the noise. This prior hypothesis can be useful for many machine learning problems; for example, the price of an apartment is expected to increase with respect to its size.

Missions and goals

- Researching a method to enforce monotonicity of the predictions with respect to some of the training variables for gradient boosting algorithms. The method has to be fast and have a low memory consumption compared to the initial machine learning algorithm. It also needs not to be over-constraining, otherwise it may make the predictions worse;
- implementation using the LightGBM library;
- testing on different datasets.

Abstract

- Reading research papers on existing implementation of monotone constraints, for different machine learning algorithms (tree-based, regressions, neural networks...);
- brainstorming with the quantitative research team that worked on similar topics. Adding prior hypotheses to usual machine learning algorithms is a common and efficient way to improve predictions;

- trials on toy problems, e.g. monotone constraints for linear regressions;
- researching and evaluating new methods and ideas. There are many ways to enforce monotone constraints for tree-based algorithms, however, these methods do not have equivalent predictive power;
- implementation using the LightGBM library in C++. LightGBM is an Open Source library for gradient boosting algorithms. It is known for being very fast and efficient. It was an ideal ground for us to ensure proper functioning of our methods;
- testing the efficiency of our methods, on different datasets. Our goal was to obtain an efficient method, fast, with a low memory consumption, that can improve predictions. We met our goals, and the final method we chose allowed us to improve predictions on every dataset we had been testing;
- comparing our methods with the literature.

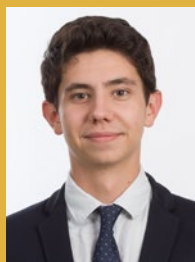


© Min An, 2018 (source : Pexels).

Éléments de bibliographie

CANO, José-Ramón, GUTIÉRREZ, Pedro Antonio, KRAWCZYK, Bartosz, WOŹNIAK, Michał et GARCÍA, Salvador, 2018. Monotonic classification: an overview on algorithms, performance measures and data sets. In : *arXiv:1811.07155* [en ligne], 2018. Disponible à l'adresse : <http://arxiv.org/abs/1811.07155>. [Consulté le 6 mars 2020].

DÉVELOPPEURS DE XGBOOST. Monotonic Constraints. In : *XGBoost Tutorials* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://xgboost.readthedocs.io/en/latest/tutorials/monotonic.html>. [Consulté le 6 mars 2020].



Victor CHOMEL

Élève ingénieur Polytechnique
Parcours MPRO-MVA

Promotion 2019

Début de doctorat réalisé à :
Institut des systèmes complexes de Paris Île-de-France (ISCFIF) / CNRS

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
David CHAVALARIAS, directeur de l'ISCFIF

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Frédéric MEUNIER, enseignant, École des Ponts ParisTech



Propagation des *fake news* dans les réseaux sociaux

Désinformation • Théorie des graphes • Réseaux sociaux • Fake news

Contexte

Face à la montée de la désinformation en ligne et plus particulièrement sur les réseaux sociaux, la notion de *fake news* est apparue comme essentielle dans le débat public. La lutte contre celle-ci se pose à chaque élection mais prend également forme dans d'autres débats autour de la vaccination par exemple. Divers outils de *fact checking* sont mis en place mais ils font face à de nombreux obstacles tels que les bulles de filtres.

Missions et objectifs

La désinformation prend des formes toujours plus diverses et la frontière entre vraie et fausse information demeure parfois floue. Ainsi, au lieu de se concentrer sur le contenu de chaque information, une analyse de l'environnement informationnel est souvent plus pertinente. L'objectif est de comprendre le réseau dans sa structure pour suivre la propagation d'une information par la suite.

Résumé

En se basant sur les données de Twitter, à l'Institut des systèmes complexes de Paris Île-de-France (ISCFIF), nous avons cherché à comprendre les liens entre les communautés en ligne ainsi que leur dynamique dans le temps. Nous avons visualisé les graphes issus des *retweets* entre les utilisateurs. En utilisant la spatialisation du graphe mais également des algorithmes de *clustering*, on observe la répartition en communauté et la diffusion d'informations dans celles-ci en fonction de leurs affinités. Grâce au travail sur différents formats (texte, image ou vidéo), il est possible de suivre et donc de lutter contre la désinformation quel qu'en soit le vecteur. En ayant accès à des caractéristiques telles que la diversité d'opinions des communautés relayant une idée ou encore l'origine d'une information, il est possible de comprendre les mécanismes de la désinformation. La mise en évidence de cœurs de communauté très actifs grâce aux données Twitter nous permet d'identifier les éléments clés au cœur des différents réseaux et les caractéristiques structurelles de la propagation d'information. Ainsi, on retrouve l'idée que les fausses informations sont concentrées autour d'un faible nombre d'utilisateurs en s'articulant autour de narratifs qui s'ancrent dans certaines communautés.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Fake news propagation in social networks

Disinformation • Misinformation • Graph theory •
Social networks • Fake news

Context

With the rise of disinformation online and more particularly on social networks, the notion of fake news has emerged as essential in public debate. The fight against it arises at every election but also takes shape in other debates, such as vaccination. Various fact checking tools are put in place but there are many obstacles to these, like filter bubbles.

Missions and goals

Disinformation has many forms and these are constantly evolving and the line between true and false information sometimes remains blurred. Thus, instead of focusing on the content of each piece of information, an analysis of the information environment is often more relevant. The objective is to understand the network in its structure in order to follow the propagation of information afterwards.

Abstract

Based on data from Twitter, at the Institut des systèmes complexes de Paris Île-de-France (ISCFIF), we sought to understand the links between online communities and their dynamics over time. We were able to visualize the graphs resulting from retweets between users. By using the spatialization of the graph but also through clustering algorithms, we observed the structuring in communities and the diffusion of information in them according to their affinities. Thanks to the work on different formats (text, image or video), it is possible to follow and thus fight against misinformation whatever the vector. By having access to characteristics such as the diversity of opinions of the communities relaying an idea or the origin of information, it is possible to understand the mechanisms of disinformation. The highlighting of very active community cores through Twitter data allows us to identify the key elements at the heart of the different networks and the structural characteristics of information propagation. Thus, we found the idea that disinformation is concentrated around a small number of users and is articulated around narratives that are rooted in certain communities.

Éléments de bibliographie

GRINBERG, Nir, JOSEPH, Kenneth, FRIEDLAND, Lisa, SWIRE-THOMPSON, Briony et LAZER, David, 2019. Fake news on Twitter during the 2016 U.S. presidential election. *Science (en ligne)*, 2019, vol. 363, n° 6425, p. 374-378. DOI 10.1126/science.aau2706.



Oscar CLIVIO

Élève ingénieur concours commun
Master Mathématiques, vision, apprentissage,
École des Ponts ParisTech et ENS Paris-Saclay

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Université de Californie (UC) Berkeley

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Nir YOSEF, Assistant Professor

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Francis BACH, responsable de module, INRIA



Machine learning et biologie

Excès de zéro pour données scRNA-seq

Machine learning • Biologie computationnelle •
Auto-encodeur variationnel • ScRNA-seq

Contexte

Les données issues du séquençage d'ARN unicellulaire (scRNA-seq) présentent de nombreuses valeurs nulles surprenantes. Elles sont donc souvent modélisées avec des lois de probabilité présentant un « excès de zéro », c'est-à-dire modifiées pour que la probabilité de la valeur zéro soit plus élevée. Les biologistes ne s'accordent cependant pas sur la pertinence de cet excès de zéro.

Missions et objectifs

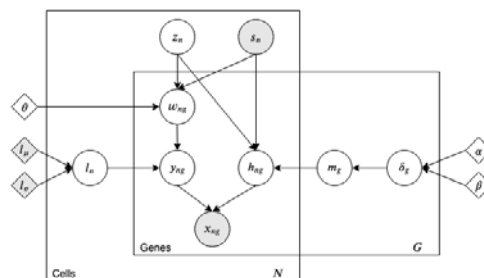
Notre travail a consisté à évaluer l'intérêt d'utiliser l'excès de zéro en plus de lois de probabilité plus classiques. Nous avons notamment voulu déterminer si cet aspect de la modélisation pouvait être mis en lien avec des phénomènes biologiques ou des aléas dans le séquençage. Cela s'est fait en utilisant une approche d'apprentissage automatique.

Résumé

Dans un premier temps, en s'appuyant sur des données synthétiques et biologiques, nous avons comparé l'auto-encodeur variationnel scVI, qui utilise une loi binomiale négative avec excès de zéro, à une version modifiée n'utilisant qu'une loi binomiale négative simple. Nous démontrons la validité de la démarche sur les données synthétiques et nous trouvons que l'excès de zéro convient à de nombreux exemples de données biologiques.

Dans un second temps, nous avons eu l'intuition que l'excès de zéro pourrait s'appliquer non pas à tout un ensemble de données mais à certains gènes spécifiques et pas d'autres. Pour cela, nous développons une extension de scVI, appelée AutoZI, que nous combinons avec la théorie de la décision bayésienne pour déterminer si l'excès de zéro est pertinent pour chaque gène individuel. Comme précédemment, nous évaluons ce modèle sur des données synthétiques et l'appliquons sur des données biologiques. Cette approche suggère que l'excès de zéro peut provenir de facteurs à la fois techniques et biologiques.

Ce travail s'est terminé par une publication et une courte présentation dans une conférence de *machine learning* appliqué à la biologie computationnelle.



PGM de AutoZI © Oscar Clivio, 2019.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Machine learning and biology

Zero-inflation for scRNA-seq data

Machine learning • Computational biology •
Variational autoencoder • ScRNA-seq

Context

Single-cell RNA sequencing (scRNA-seq) data contain many surprising zero values. They are often modeled using "zero-inflated" probability distributions, or in other words standard count distributions that are modified to increase the mass on zero. Biologists do not agree on the relevance of such a zero-inflation, however.

Missions and goals

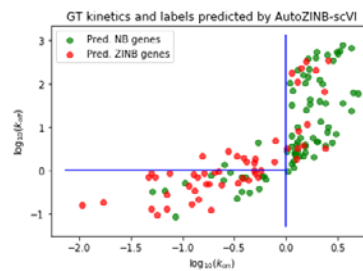
Our work consisted in evaluating the relevance of using zero-inflation in addition to more standard count distributions. Notably, we aimed to determine whether this aspect in the modeling of scRNA-seq data could be linked to biological phenomena or technical artefacts during the sequencing of the data. This was performed using a machine learning approach.

Abstract

First, using synthetic and biological data, we compared scVI, a variational autoencoder model using a zero-inflated negative binomial distribution, to a modified version using only a simple negative binomial distribution, where the zero-inflation is ablated. We show the validity of our methodology on synthetic data and we find that zero-inflation is adequate to model various sorts of biological data.

Then, we had the intuition that zero-inflation could apply not to a whole dataset but to some specific genes in the dataset only. To check this, we developed an extension of scVI, named AutoZI, which we combine with Bayesian decision theory to determine whether zero-inflation applies to each individual gene. As done before, we evaluate the model on synthetic data and apply it to biological data. This approach suggests that zero-inflation can come from both biological and technical factors.

Our work was rewarded with a publication and a spotlight talk in a conference about machine learning applied to computational biology.



Lien entre AutoZI et genes bimodaux/unimodaux © Oscar Clivio, 2019.



Jean-Christophe CORVISIER

Élève ingénieur concours commun
Master Mathématiques, vision, apprentissage (MVA)
École des Ponts ParisTech et ENS Paris-Saclay

Promotion 2018

Mission recherche réalisée à
Dassault Systèmes

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Niels LUBBER, ingénieur R&D

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pascal MONASSE, chercheur, LIGM, École des Ponts ParisTech



Apprentissage par renforcement pour la cobotique

Apprentissage • Renforcement • Cobotique

Contexte

Devant le succès des solutions d'apprentissage (*machine learning*) dans l'industrie, Dassault Systèmes s'est donné pour ambition d'intégrer de plus en plus ce type de solutions dans ses logiciels pour accroître encore leur efficacité.

Ce projet de fin d'études se focalisait sur le logiciel DELMIA Ergonomics At Work, qui permet de simuler les tâches demandées dans les usines à des salariés, et plus particulièrement celles requérant une interaction avec des robots industriels (d'où le terme de cobotique) afin de pouvoir évaluer leur faisabilité ainsi que leur impact sur la santé des travailleurs (à travers un *score* d'ergonomie).

Dassault Systèmes avait également pour ambition de se focaliser sur un certain type d'approche *machine learning*, l'apprentissage par renforcement.

Missions et objectifs

La prise en main et l'utilisation du logiciel DELMIA Ergonomics At Work pour créer des simulations requiert un fort investissement en termes de temps, dans la prise en main du logiciel et dans la conception de ces simulations. Par conséquent, j'avais pour mission de rechercher des solutions d'apprentissage par renforcement pour automatiser et ainsi accélérer le processus de création des simulations. Cela impliquait :

- un état de l'art des dernières techniques d'apprentissage par renforcement pertinentes pour pouvoir remplir ces objectifs ;
- réussir à les intégrer dans le logiciel.

Résumé

Pour des raisons de confidentialité, il ne m'est pas possible de détailler le travail effectué ni les résultats obtenus. Je peux en revanche expliquer les principes généraux

étudiés ainsi que la configuration du logiciel. Le logiciel, développé en C++, propose de modéliser les tâches des salariés dans une industrie par une succession de blocs appelés « macro-activités ». Une simulation complète est une succession de piles de macro-activités, que l'utilisateur doit paramétrer. L'apprentissage par renforcement est un champ du *machine learning* non supervisé dans lequel un agent va interagir avec un environnement selon une certaine politique. En interagissant avec l'environnement, celui-ci va lui faire une critique de ces actions, sous la forme d'une récompense, qui est un nombre réel. Le but des algorithmes de renforcement est de permettre à l'agent, à travers un processus de *trial-and-error*, d'apprendre la meilleure façon d'interagir avec l'environnement : celle qui lui permettra d'obtenir la meilleure récompense possible dans toutes les situations pouvant se présenter à lui. Il existe plusieurs manières de modéliser des politiques d'agents, et plusieurs d'apprendre les politiques optimales. Mon travail à Dassault Systèmes s'est surtout focalisé sur l'utilisation de réseaux de neurones pour modéliser le comportement d'agent d'apprentissage.



Illustration d'une session sur le logiciel DELMIA Ergonomics at Work
© Jean-Christophe Corvisier, 2019.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Reinforcement Learning for Robotics

Learning • Reinforcement • Robotics

Context

With the success of machine learning solutions in many industrial fields, Dassault Systèmes has set itself the goal of integrating more of these types of solutions into its softwares to further increase their efficiency.

The final year project focused on the DELMIA Ergonomics At Work software, which simulates the tasks of employees in factories, and in particular the tasks requiring interaction with industrial robots (from which the term cobotics was chosen) in order to be able to assess their feasibility as well as to evaluate their impact on workers' health (through an ergonomic score).

Dassault Systèmes also wanted to focus on a certain type of machine learning approach, called reinforcement learning.

Missions and goals

The software DELMIA Ergonomics At Work can be quite challenging to master, and it requires a lot of time to model even the simplest tasks. Consequently, my mission was to find reinforcement learning solutions in order to automate and thus speed up the process of creating simulations. I had to:

- carry out a state of the art of the latest relevant reinforcement learning techniques to be able to fulfill these objectives;
- successfully integrate them into the software.

Abstract

For reasons of confidentiality, neither details of the work nor the results can be published. However, explanations on the general principles studied as well as the software description will be given. The software, developed in C++, proposes to model the tasks of the employees in an industry by a stack of blocks called "macro-activities". A complete simulation is therefore a succession of stacks of macro-activities, created by the user of the software. Reinforcement learning is a field of unsupervised machine learning in which an agent will interact with an environment according to a certain specific policy. By interacting with the environment, it will criticize these for their actions, in the form of a reward, which is a positive real number. The goal of reinforcement algorithms is to allow the agent, through a trial-and-error process, to learn the best way to interact with the environment: the one that obtains the best possible reward in all situations that arise. There are several ways to model agent policies, and several ways to learn optimal policies. My work at Dassault Systèmes mainly focused on the use of neural networks to model the behavior of learning agents.

Éléments de bibliographie

SUTTON, Richard S. et BARTO, Andrew G., 1998. *Reinforcement learning: an introduction*. Londres : the MIT Press, 322 p.

SCHULMAN, John, WOLSKI, Filip, DHARIWAL, Prafulla, RADFORD, Alec et KLIMOV, Oleg, 2017. Proximal Policy Optimization Algorithms. In : *arXiv:1707.06347* [en ligne], 28 août 2017. Disponible à l'adresse : <http://arxiv.org/abs/1707.06347>. [Consulté le 9 mars 2020].

PENG, Xue Bin, BERSETH, Glen, YIN, Kangkang et VAN DE PANNE, Michiel, 2017. DeepLoco: dynamic locomotion skills using hierarchical deep reinforcement learning. *ACM Transactions on Graphics*, 20 juillet 2017, vol. 36, n° 4, p. 411–41:13. DOI 10.1145/3072959.3073602.



Yonatan DELORO

Élève ingénieur concours commun
Master Mathématiques, vision, apprentissage (MVA)
École des Ponts ParisTech et ENS Paris-Saclay

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Mindsay

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Dimitri LOZEVE, Data Scientist R&D

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Alessandro LAZARIC, chercheur, Facebook AI / ENS Paris-Saclay



Un algorithme auto-apprenant pour la compréhension du langage des robots conversationnels

Compréhension du langage naturel • Apprentissage auto-supervisé •
Bandits contextuels

Contexte

Pour qu'un robot conversationnel puisse répondre correctement à un certain message, il s'agit d'abord pour lui de comprendre l'intention sous-jacente à ce message, à savoir choisir l'intention la plus adéquate parmi une liste prédéfinie de possibilités. Pour ce faire, l'approche standard consiste à entraîner un modèle de classification grâce à de nombreux exemples de messages illustrant chaque intention possible. En plus d'être coûteuse, une telle approche est problématique car ces données d'entraînement ne reflètent souvent pas la diversité des messages écrits par de vrais utilisateurs.

Missions et objectifs

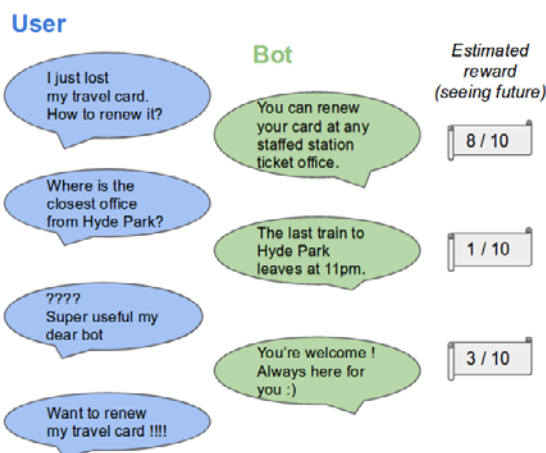
Au contraire, on aimerait que le robot améliore sa compréhension du langage au fil de ses interactions avec les utilisateurs. Par exemple, si l'un d'entre eux critique le robot ou répète son précédent message incompris, le robot devrait apprendre à choisir une autre intention pour répondre à un futur message similaire. Ainsi, mon projet de fin d'études a visé à construire un algorithme qui exploite les retours de l'utilisateur en langage naturel pour améliorer automatiquement le classifieur d'intentions au fil de la vie du robot.

Résumé

Le premier défi a été de construire un modèle de récompense capable d'évaluer les intentions choisies par le robot grâce à des signaux implicites extraits des conversations, comme les répétitions ou les marqueurs d'émotion. Ensuite, il a fallu concevoir une politique pour améliorer le classifieur d'intentions à partir des récompenses estimées au cours des conversations passées. Nous avons développé deux solutions concurrentes : la première

utilise deux modèles d'apprentissage supervisé dont les jeux d'entraînement évoluent au fil des conversations ; la seconde implémente un algorithme de bandit contextuel sur un espace de contextes en langage naturel.

L'évaluation des solutions à partir des conversations passées a d'abord confirmé l'hypothèse selon laquelle il était possible d'apprendre sur la tâche de classification d'intentions avec des conversations collectées par un robot déterministe. Enfin, la deuxième solution proposée s'est avérée la plus pertinente à long terme pour balancer l'exploration et l'exploitation des connaissances du robot. Toutefois, c'est la première solution qui a été déployée car elle seule permettait à un humain de surveiller facilement la qualité des données d'entraînement du classifieur.



We first built a model to assess the relevance of each bot answer thanks to the whole conversation © Yonatan Deloro, 2019.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

A self-learning algorithm for language understanding of conversational bots

Natural language understanding • Self-supervised learning • Contextual bandits

Context

In order to answer a text message appropriately, a conversational bot must be able to understand the intent underlying the message, or, in other words, to choose the most adequate intent among a pre-defined list of choices. For this purpose, the standard approach is to train a classification model thanks to many human-made examples of messages illustrating each possible intent. In addition to being expensive, such an approach is problematic as these examples do not often reflect the diversity of the messages written by real users while talking to the bot once deployed.

Missions and goals

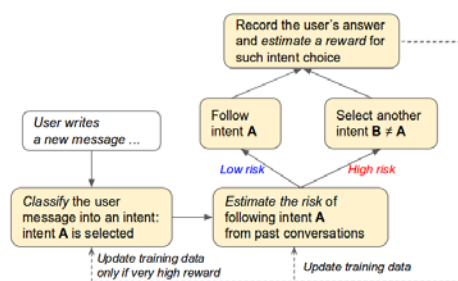
Instead, one may want the bot to improve its language understanding, as long as it interacts with new users. For instance, if a user criticizes the bot, or repeats its previously misunderstood message, the bot should learn to try another intent the next time it is asked to answer a similar message. Thus, my final year project aimed at building an algorithm which leverages the implicit feedback left by the users in natural language, in order to automatically improve the intent classification model over the lifetime of the bot.

Abstract

The first challenge was to build a reward model able to rate the intents chosen by the bot thanks to passive signals extracted from conversations, such as repetitions or emotion markers. The

second challenge aimed at designing a policy to improve the intent classifier thanks to the rewards estimated over the past conversations. For this purpose, we developed two approaches. The first is based on two supervised learning models whose training data evolves with new conversations, while the second implements a contextual bandit algorithm for a space of natural language contexts.

The assessment of the solutions using the past conversations first confirmed the assumption that it is possible to learn on the intent classification task with conversations collected by a deterministic bot. Finally, it appeared that the second solution proposed was the most relevant in the long-term to trade-off knowledge exploration and exploitation. However, the first was deployed, for it alone enabled humans to monitor easily the quality of the classifier's training data.



The first solution we designed to improve the understanding of intents by the bot throughout its interactions with users (simplified diagram) © Yonatan Deloro, 2019.

Éléments de bibliographie

HANCOCK, Braden, BORDES, Antoine, MAZARÉ, Pierre-Emmanuel et WESTON, Jason, 2019. Learning from Dialogue after Deployment: Feed Yourself, Chatbot! *arXiv:1901.05415* [en ligne]. 13 juin 2019. Disponible à l'adresse : <http://arxiv.org/abs/1901.05415> [Consulté le 4 mars 2020].

LAWRENCE, Carolin, SOKOLOV, Artem et RIEZLER, Stefan, 2017. Counterfactual Learning from Bandit Feedback under Deterministic Logging: A Case Study in Statistical Machine Translation. *arXiv:1707.09118* [en ligne]. 14 décembre 2017. Disponible à l'adresse : <http://arxiv.org/abs/1707.09118> [Consulté le 4 mars 2020].

LI, Lihong, CHU, Wei, LANGFORD, John et SCHAPIRE, Robert E., 2010. A contextual-bandit approach to personalized news article recommendation. In : *Proceedings of the 19th international conference on World wide web* [en ligne]. Raleigh, North Carolina, USA : Association for Computing Machinery, 26 avril 2010. p. 661–670. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.1145/1772690.1772758>. [Consulté le 4 mars 2020].



Quentin DUCHEMIN

Élève ingénieur concours commun
Master Mathématiques, vision, apprentissage (MVA)
École des Ponts ParisTech et ENS Paris-Saclay

Promotion 2018

Mission recherche réalisée à
NYU Center for Data Science

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Carlos FERNANDEZ-GRANDA, Assistant Professor

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Agnès DESOLNEUX, enseignante, ENS Paris-Saclay



Estimation des paramètres en imagerie par résonance magnétique *fingerprinting* via *deep learning*

Imagerie médicale • Réduction de dimension • Réseau de neurones

Contexte

La technique d'IRM aujourd'hui pratiquée fournit des images en niveau de gris associées à un paramètre biologique spécifique. Il n'est pas possible d'obtenir une estimation précise de la valeur du biomarqueur dans une zone donnée de l'image : l'IRM est donc une méthode dite « qualitative ». De plus, afin d'obtenir des données sur un autre paramètre, il est nécessaire de réaliser un nouveau scan complet (ce qui est très coûteux en temps). L'imagerie par résonance magnétique *fingerprinting* (MRF) est une méthode quantitative qui permettrait d'accéder aux valeurs de plusieurs biomarqueurs avec un seul scan.

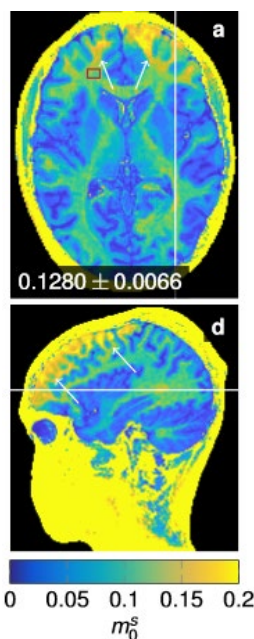
Missions et objectifs

L'objectif de ce projet de fin d'études était de concevoir un outil d'apprentissage permettant d'estimer les paramètres biologiques de façon robuste et efficace à partir des données médicales. Ces dernières correspondaient aux scans obtenus suite à l'application d'un champ magnétique associé à l'imagerie MRF.

Résumé

Nous avons entraîné un réseau de neurones dont l'architecture commence par une couche assurant la projection des données simulées sur un espace de faible dimension. Les fonctions de bases de cette première couche sont alors utilisées pour la reconstruction des images à partir des scans réalisés. En effet, les données acquises lors d'un scan d'IRM sont naturellement dans le plan de Fourier en espace, et appliquer une transformation inverse pour obtenir les images à tous les pas de temps serait trop coûteux. Notre méthode de reconstruction rend donc

le processus d'estimation réalisable en pratique. Nous montrons qu'apprendre les fonctions de base mène à de meilleurs résultats que l'utilisation d'une base obtenue via une ACP. Nous utilisons également une fonction de perte normalisée (par la borne de Cramér-Rao) permettant une meilleure gestion du bruit dans les données.



Estimation de la densité protonique © Quentin Duchemin, 2019.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Parameter estimation in Magnetic Resonance fingerprinting via deep learning

Medical Imaging • Dimensionality reduction • Neural network

Context

The MRF technique provides grayscale images corresponding to a specific biological parameter. It is not possible to obtain an accurate estimate of the value of the biomarker in a given area of the image: MRI is therefore a qualitative method. In addition, in order to obtain data on another parameter, it is necessary to perform a complete new scan (which is very time-consuming). Magnetic Resonance Fingerprinting (MRF) is a quantitative method that would allow access to the values of several biomarkers with a single scan.

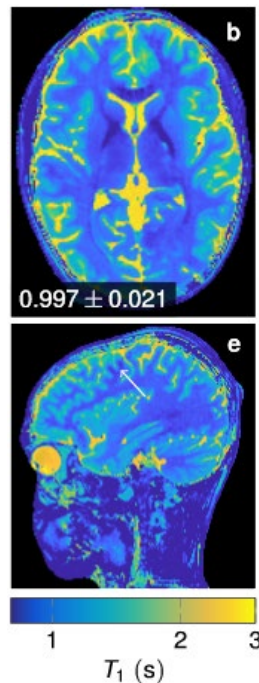
Missions and goals

The first weeks were dedicated to the bibliography and to understanding the biological phenomena involved. The main objective of the project was to design a learning tool to estimate biological parameters in a robust and efficient way from medical data. These corresponded to the scans obtained following the application of a magnetic field associated with MRF.

Abstract

We trained a neural network whose first layer ensures the projection of simulated data on a small dimension space. The basis functions of this first layer were then used for the reconstruction of the images from the scans produced. Indeed, the data acquired in MRI are naturally in the k -space, and applying an inverse transformation to obtain the images at all time steps would be too expensive. Our reconstruction method therefore makes

the estimation process feasible. We show that learning the basis functions leads to better results than using a basis obtained via PCA. We also use a normalized loss function (with the Cramér-Rao bound) allowing us to deal with the noisy data.



Estimation du temps de relaxation longitudinal © Quentin Duchemin, 2019.



Marwane HARIAT

Élève ingénieur concours commun
Master Mathématiques, vision, apprentissage (MVA)
École des Ponts ParisTech et ENS Paris-Saclay

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Wave Computing

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Sylvain FLAMANT, Principal Engineer

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pascal MONASSE, enseignant, École des ponts ParisTech



Compression de réseaux de neurones profonds

Recherche • Intelligence artificielle • Compression • Réseau de neurones

Contexte

L'intérêt pour les réseaux de neurones profonds a considérablement augmenté au cours des dernières années, en particulier après les résultats incroyables qu'ils ont permis d'obtenir dans le domaine de la vision artificielle. Cet attrait croissant a certes permis des avancées majeures mais il a également banalisé l'utilisation de réseaux de neurones gigantesques provoquant une rupture avec le monde industriel limité par la capacité en mémoire des appareils électroniques. De plus, compter sur des infrastructures telles qu'Amazon Web Services ou Google Cloud pour gérer les réseaux de neurones n'est plus vraiment une option puisque ceux-ci sont destinés à être utilisés par des objets connectés comme les smartphones et doivent donc fonctionner avec une faible latence. De ce fait, beaucoup d'entreprises technologiques fabriquent leurs propres puces électroniques personnalisées. Wave Computing, l'entreprise dans laquelle j'ai réalisé mon projet de fin d'études, est l'une d'entre elles.

Missions et objectifs

J'ai rejoint Wave Computing en tant que stagiaire de recherche sur la compression de réseaux de neurones profonds. L'objectif principal de mon projet de fin d'études consistait à élaborer une nouvelle méthode de compression de réseaux de neurones pour l'entreprise afin de pouvoir, dans le cadre d'une application spécifique d'intelligence artificielle demandée par un client (par exemple la reconnaissance d'objets), réduire la taille du réseau de neurones utilisé avant l'implémentation finale sur une puce électronique.

Résumé

L'un des plus grands défis de l'*edge computing* est de pouvoir compresser les réseaux de neurones tout en maintenant une très bonne performance. La meilleure façon d'appréhender un tel problème est la *pruning*. Cela consiste à partir d'un réseau préexistant et déjà très efficace sur le *dataset* d'intérêt pour supprimer progressivement les paramètres les moins importants.

Notre méthode vise à bénéficier pleinement des avantages du *pruning* dit « statique » qui conserve une bonne performance vis-à-vis du pire scénario et du *pruning* « dynamique », qui réduit le réseau en fournissant une bonne performance en moyenne. La partie statique est basée sur l'étude de la Hessienne de la fonction de coût afin de trouver la meilleure direction de compression. La partie dynamique de notre méthode tire profit du fait que certaines images sont plus faciles à reconnaître que d'autres et ont donc besoin de moins de couches pour être reconnues. Pour cela, elle utilise des interrupteurs intelligents répartis uniformément tout au long du réseau guidant chaque image vers un sous-ensemble du réseau.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Compression of Deep Neural Networks

Research • Artificial Intelligence • Compression •
Deep Neural Networks

Contexte

Interest in deep neural networks has increased considerably in recent years, especially after the incredible results they have achieved in the field of artificial vision. This growing appeal has certainly led to major advances, but it has also trivialized the use of gigantic neural networks, causing a break with the industrial world limited by the memory capacity of electronic devices. Moreover, relying on infrastructures such as Amazon Web Services or Google Cloud to manage neural networks is no longer really an option since they are intended to be used by connected objects such as smartphones and must therefore operate with low latency. As a result, many technology companies are manufacturing their own customised microchips. Wave Computing, the company where I did my final year project, is one of them.

Missions and goals

I joined Wave Computing as a research trainee on deep neural network compression. The main objective of my final project was to develop an efficient pruning method for the company in order to reduce the size of the neural network used before the final implementation on a chip for a specific artificial intelligence application (object recognition for example) requested by a customer.

Abstract

One of the biggest challenges for edge computing is to be able to provide effective neural networks while reducing considerably their size and the number of mathematical operations required to perform inference. The most efficient way to address this issue is to start from an effective and deep neural network and to get rid of its useless parameters progressively.

Our method aims to take full advantage of the benefits of so-called "static" pruning, which retains a good performance against the worst-case scenario, and "dynamic" pruning, which reduces the network by providing a good performance on average. The static part is based on the Hessian study of the cost function in order to find the best compression direction. The dynamic part of our method takes advantage of the fact that some images are easier to recognize than others and therefore need fewer layers to be recognized. It does this by using intelligent switches distributed evenly throughout the network guiding each image to a subset of the network.

Éléments de bibliographie

WANG, Chaoqi, GROSSE, Roger, FIDLER, Sanja et ZHANG, Guodong, 2019. EigenDamage: Structured Pruning in the Kronecker-Factored Eigenbasis. In : *arXiv:1905.05934* [en ligne], 2019. Disponible à l'adresse : <http://arxiv.org/abs/1905.05934> [consulté le 5,06.2020].



Mohammed Amine KHELDOUNI

Élève ingénieur concours commun
Master Mathématiques, vision, apprentissage (MVA)
École des Ponts ParisTech et ENS Paris-Saclay

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Banque internationale à Luxembourg (BIL)

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Hugo FOL, analyste quantitatif en risque de crédits

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pascal MONASSE, chercheur, LIGM, laboratoire Imagine
École des Ponts ParisTech



Algorithmes de *machine learning* pour les risques financiers

Statistiques • Machine learning • Réseaux de neurones • Prépaiements • Crédits

Contexte

Le projet de fin d'études représente ma contribution à l'équipe EFRM (Enterprise & Financial Risk Management) de la Banque internationale à Luxembourg. Un prépaiement, ou paiement anticipé, est un événement rare qui survient lorsque le souscripteur souhaite exercer son droit de retrait en remboursant son crédit de manière anticipée. L'objectif du projet de fin d'études était de prédire l'occurrence de ces événements dans le portefeuille de crédits de la BIL, en établissant des modèles d'apprentissage (*machine* et *deep learning*).

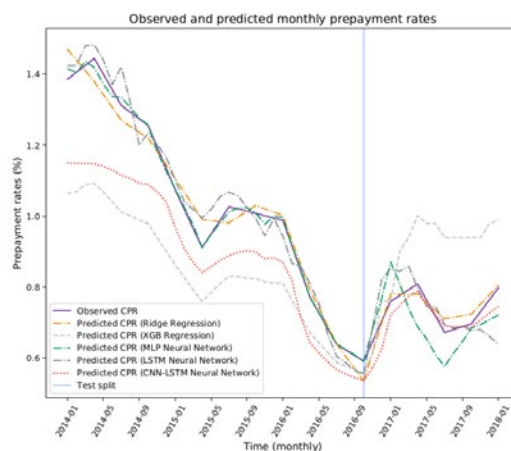
Missions et objectifs

Ce projet de fin d'études avait pour objectifs de développer des approches algorithmiques et des modèles d'apprentissage pour prédire le comportement des clients et quantifier le risque de prépaiement encouru par la banque lorsque cette dernière accorde un prêt. Les différentes missions du projet s'articulaient donc autour de la modélisation de cet événement et le développement algorithmique d'un modèle d'apprentissage, utilisant différentes techniques de statistique, d'analyse des données, de *machine learning* et de *deep learning*. Enfin, dans le cadre d'une quantification du risque de crédit encouru par la banque et l'équipe EFRM, de telles approches ont été correctement auditées et testées.

Résumé

L'objectif de ce projet de fin d'études est de prédire l'évolution du taux de prépaiement dans un portefeuille de crédits. Au Luxembourg, une nouvelle loi a été mise en place en mars 2016, permettant aux créanciers de payer de manière anticipée le restant à payer de leur crédit avec une pénalité de prépaiement moins importante. Un tel changement implique forcément une hausse des prépaiements et donc un risque plus important pour la

banque. Cela peut donc induire des problèmes dans la politique de refinancement de la banque et affecte l'ALM (gestion des actif-passif). Estimer le taux de prépaiements est donc fondamental et fait l'objet d'un suivi obligatoire de la part du régulateur. Ce projet de fin d'études présente de nouvelles approches basées sur les statistiques et les modèles d'apprentissage qui transforment le problème en une classification binaire des crédits, en distinguant les crédits ayant été prépayés des autres. Une telle modélisation considère que le sujet est une détection d'anomalie où l'événement de prépaiement est une anomalie qui survient peu souvent. De tels algorithmes d'apprentissage utilisent des données financières comme les taux d'intérêt, mais aussi des données propres au crédit (le nominal, la maturité, etc.) et des données propres aux clients (l'âge, le statut matrimonial, etc.) afin de fournir une prédiction sur la probabilité de prépaiement du client.



Prédictions du taux de prépaiement mensuel par des modèles de réseaux de neurones profonds © Mohammed Amine Kheldouni, 2019.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Machine Learning algorithms for the Enterprise & Financial Risk Management

Statistics • Machine Learning • Neural Networks •
Prepayments • Mortgages

Context

This final year project represents my contribution to the EFRM (Enterprise & Financial Risk Management) team of Banque Internationale à Luxembourg. A prepayment is a rare event that occurs when a mortgagee uses his right to prepay his mortgage before maturity.

The goal of my final year project was to predict such events in mortgages portfolio of BIL, using machine & deep learning algorithms.

Missions and goals

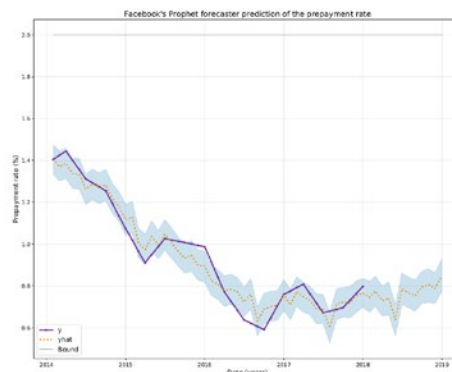
This project aimed to develop new algorithmic approaches and learning models to forecast the behavior of mortgagors and quantify the prepayment risk incurred by the bank during a loan. The multiple missions focused on modelling such a rare event and programming machine learning and deep learning based algorithms to make such predictions. Using several techniques in statistics and learning, the credit risk quantification done had been thoroughly audited and tested to respond to the regulator's expectations and rules.

Abstract

As a part of my engineering studies and my final project in a Master of Science degree, this project targeted the forecast of the prepayment rate in BIL's mortgage portfolio. In Luxembourg, a new law has taken place on March 2016, allowing people with a loan to repay their outstanding loan with a lesser penalty than before. Such a modification will certainly imply an increase of the prepayment rate due to rational behavior of the clients and may involve problems in the refinancing policy of the bank, and affect the Asset

& Liability Management. Moreover, interest rate risk arises from prepayments, meaning that being able to forecast the prepayment rate can increase the performance of the hedging strategy of a bank, given the magnitude of the mortgage portfolio in the balance sheet of a bank.

This project introduces new approaches based on learning models and statistics and transform the rare occurrence of a prepayment into an anomaly detection problem where mortgages are classified into two categories: prepaying mortgages (anomalies) and not prepaying ones. Machine learning algorithms handle several types of data to learn to predict well this classification. Used data can be financial such as interest rates, or loan related (maturity, outstanding and nominal amounts, etc) or even client information (his age, status, location, etc). Indeed, although a majority of clients behave rationally, some may prepay although it is not financially convenient for them, because of a relocation or divorce, for instance.

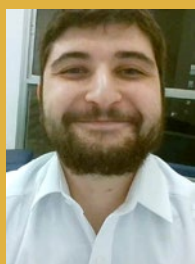


Prediction du taux de prépaiement par le modèle « Prophet » de Facebook © Mohammed Amine Kheldouni, 2019.

Éléments de bibliographie

SAITO, Taiyo, 2018. *Mortgage Prepayment Rate Estimation with Machine Learning* [en ligne]. Thèse. TU Delft. Disponible à l'adresse : <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:500f39d8-bf25-4c80-8346-d2d7978b4c48/datastream/OBJ/>.

TUNARU, Radu, 2017. *Real-Estate Derivatives: From Econometrics to Financial Engineering*. Oxford University Press.



Rémy KOSKAS

Élève ingénieur concours commun
Master de l'International Centre for Fundamental Physics (ICFP),
Parcours physique théorique, École normale supérieure d'Ulm
et université Paris-Saclay

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Observatoire de Paris (site de Meudon), laboratoire Univers et Théories (LUTH)

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Jean-Michel ALIMI, directeur de recherche, CNRS

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Tony LELIEVRE, chercheur, CERMICS, École des Ponts ParisTech



Détection d'empreintes cosmologiques dans les halos de matière noire simulés

Énergie noire • Cosmologie • Arbres de décision

Contexte

La structuration de l'univers à grande échelle est une des questions centrales de la cosmologie moderne. Plusieurs modèles physiques de structuration de l'univers sont possibles. Les simulations numériques permettent de comparer ces différents modèles. Tous présentent une hiérarchie de structures gravitationnelles et notamment des halos de matière, lieux de formation des galaxies et d'amas de galaxies.

Missions et objectifs

Il s'agit de comparer les halos formés dans les simulations numériques de différents modèles cosmologiques. La comparaison avec les observations permettra ensuite d'identifier le modèle cosmologique décrivant le mieux notre univers.

À l'aide des méthodes d'analyse statistique prédictive, nous voudrions distinguer deux halos formés dans deux cosmologies différentes en isolant les attributs physiques responsables d'une telle distinction.

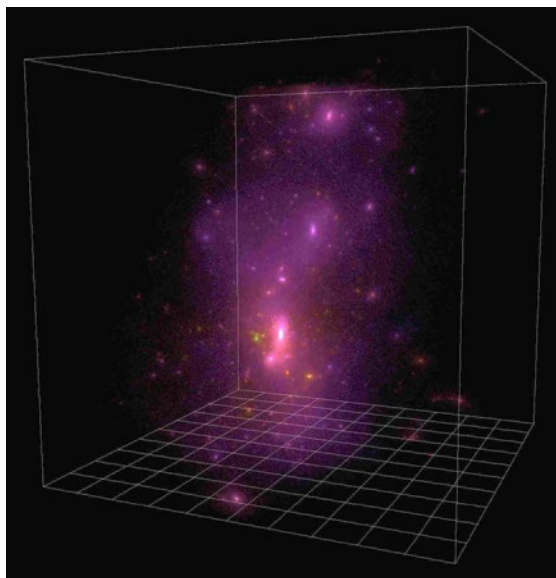
Résumé

Nous avons développé une méthode permettant de discriminer différents modèles cosmologiques indistinguables à grandes échelles, à partir des propriétés des halos (concentrations de matière) formés lors de leur simulation numérique. Il s'est agi de détecter des différences subtiles, des signaux faibles mais néanmoins révélateurs de l'empreinte cosmologique sur la structuration de l'univers dans chacun de ces modèles. Pour ce faire, nous avons conçu et entraîné un dispositif de *machine learning* (ML) permettant de traiter chaque halo pour connaître d'une part, le modèle cosmologique dans lequel ce halo s'est formé, parmi plusieurs choix possibles (classification) et, d'autre part, d'estimer certains paramètres cosmologiques du modèle dans lequel il a été formé (régression).

L'entrée de l'algorithme est un ensemble d'attributs physiques calculés pour chaque halo. Suivant l'efficacité du procédé d'apprentissage selon différentes combinaisons d'attributs, nous avons pu déterminer les attributs les plus « imprégnés » par la cosmologie.

En ce sens, la physique sert de *priors* pour la sélection d'attributs et la construction du système ML, et, en retour, les performances de celui-ci renseignent sur la physique, c'est-à-dire sur les propriétés des halos les plus impactés par la cosmologie.

Les halos dont nous nous servons pour entraîner notre dispositif ML sont les halos produits par les simulations « Dark Energy Universe », dans lesquels divers modèles d'énergie noire ont été testés.



Exemple de Halo obtenu par simulation © Jean-Michel ALIMI, DEUS consortium – Dark Energy Universe Simulations, 2013, disponible sur <http://www.deus-consortium.org> (avec son autorisation).

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Detection of cosmological imprints in simulated dark matter halos

Cosmology • Dark matter • Dark energy • Decision tree •
Model aggregation

Context

The large scale structure of the universe is one of the main questions in modern cosmology. Many physical models compete to explain this, and they can be compared through numerical simulations. All of them eventually show hierarchized gravitational structures, such as dark matter halos (where galaxies and clusters form).

Missions and goals

We wish to compare halos whose formation was simulated in different cosmological models. The comparison with the observations will then make it possible to identify the cosmological model that best describes our universe.

More specifically, using predictive statistical analysis, we want to distinguish two halos formed in two different cosmologies by isolating physical attributes allowing such distinction.

Abstract

We have developed a method to discriminate different cosmological models that are indistinguishable at large scales, based on the properties of the halos (concentrations of matter) formed during their numerical simulation. Therefore, we had to detect subtle differences, weak signals that nevertheless reveal the cosmological imprint of each model on the structuration of the universe.

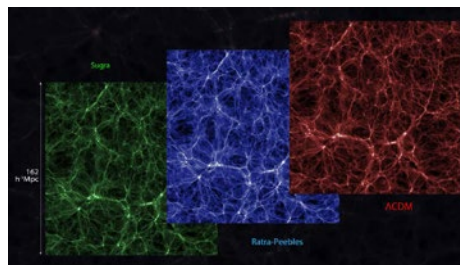
To do so, we conceived and trained a machine learning system that treats each halo in order to:

- know the cosmological model in which this halo was formed, from among several possible choices (classification task);
- estimate some cosmological parameters of this model (regression task).

The input of the algorithm is a set of physical attributes, computed for each halo. According to the efficiency of the learning process on different combinations of attributes, we were able to determine those which are the most impregnated by the background cosmology.

In that way, physics give priors to select attributes and build a machine learning system and, in return, performances of this system provide insights on physics, on the properties of halos that are the most impacted by cosmology.

The halos used to train our machine learning device were produced by the Dark Energy Universe simulations, in which several dark energy models are tested.

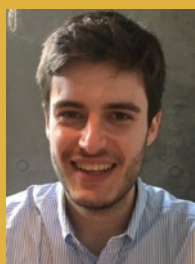


Distribution finale de matière dans trois modèles cosmologiques différents. On notera l'extrême similitude entre les images © Jean Michel ALIMI - DEUS consortium. Dark Energy Universe Simulations, 2013, disponible sur www.deus-consortium.org (avec son autorisation).

Éléments de bibliographie

RASERA, Y., ALIMI, J.-M., COURTIN, J., ROY, F., CORASANITI, P.-S., FÜZFA, A. et BOUCHER, V., 2010. Introducing the Dark Energy Universe Simulation Series (DEUSS). *AIP Conference Proceedings* [en ligne], 2010, vol. 1241, n° 1, pp. 1134-1139. DOI 10.1063/1.3462610 [consulté le 15 avril 2020].

ALIMI, Jean-Michel et KOSKAS, Rémy, à paraître. Cosmological DEUS models discrimination by using machine learning. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*.



Pierre OREISTEIN

Élève ingénieur concours commun
Master Mathématiques, vision, apprentissage (MVA)
École des Ponts ParisTech et ENS Paris-Saclay

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Riken - Center for Advanced Intelligence Project

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Mohammad Emtiyaz KHAN, Research Team Leader

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Stéphanie ALLASONNIÈRE, professeur, School of Medicine,
université Paris Descartes



Variational Online Newton

Algorithme efficace de calculs bayésiens

Règle de Bayes • Inférence variationnelle • Familles exponentielles •
Algorithme de Newton • Réseaux de neurones bayésiens

Contexte

L'émergence des réseaux de neurones artificiels a engendré une formidable révolution en *machine learning*. Leur expressivité sans limite combinée à leur facilité d'entraînement en font un outil de prédiction universel. Cependant, leur interprétation et l'estimation de leur incertitude reste difficile. Leur usage pratique est donc réduit. Dans ce contexte, certains proposent l'idée d'utiliser des poids aléatoires au lieu de poids déterministes. En effet, à chaque échantillonnage, différentes prédictions sont générées. Il est alors plus aisé d'estimer l'incertitude intrinsèque des réseaux.

L'aléatoire génère cependant de nouvelles difficultés. Davantage de paramètres doivent être optimisés. Par exemple, dans le cas d'une Gaussienne, pour N paramètres dans le cas déterministe, une version équivalente aléatoire se compose de $O(N^2)$ paramètres (moyenne + matrice de covariance). Sachant que les réseaux les plus performants se composent de milliards de paramètres, trouver un algorithme efficace d'optimisation devient l'enjeu primordial.

Missions et objectifs

Dans cette recherche excitante d'algorithmes efficaces, il a été proposé dans *Fast and Scalable Bayesian Deep Learning by Weight-Perturbation in Adam* (KHAN, Mohammad Emtiyaz, *et al.*, 2018) une approche d'inférence variationnelle appelée VON. Cet algorithme utilise les fascinantes propriétés des familles exponentielles pour obtenir un algorithme aussi efficace que Adam ou RMSProp. VON suppose que toutes les variables (les poids du réseau de neurones) suivent une loi Gaussienne. Cette hypothèse facilite les calculs et donnent de très bons résultats en pratique. Cependant, un tel *a priori* sur les poids est peu informatif.

Ma principale mission a donc été de transformer VON : considérer des probabilités non plus sur les poids du

réseau de neurones, peu informatives, mais sur les fonctions générées par un ensemble de poids pour ce réseau de neurones. Ainsi, en fonction de l'expertise métier, on peut directement pondérer les fonctions qui nous intéressent.

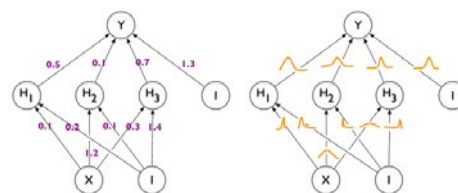
Résumé

Dans un premier temps, nous étudions en détail l'algorithme VON. En particulier, VON repose sur les familles exponentielles et leurs différentes propriétés étonnantes.

Dans un second temps, nous utilisons la notion de « Minimal Conditional Exponential Family » (LIN, Wu, *et al.*, 2019) pour définir efficacement une probabilité sur les fonctions générées par l'architecture du réseau de neurones.

Dans un troisième temps, nous utilisons des analogies avec les processus Gaussiens pour développer l'algorithme tant recherché ayant les mêmes propriétés que VON mais étant plus informatif.

Finalement, dans un dernier temps, nous nous concentrons sur la compréhension de l'efficacité de VON et de son lien avec le développement de Taylor.



Unlike deterministic Neural Networks (left) that have a fixed value of their parameters, Bayesian Neural Networks (right) has a distribution defined over them © Charles Blundell, Julien Cornebise, Koray Kavukcuoglu, Daan Wierstra (avec leur autorisation), image tirée de BLUNDELL, C., CORNEBISE, J., KAVUKCUOGLU, K. et WIESTRA, D., 2015. *Weight Uncertainty in Neural Networks* (en ligne), p. 2. Disponible sur : <https://arxiv.org/abs/1505.05424>.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Variational Online Newton

Efficient Algorithm for Bayesian Computations

Bayes Rule • Variational Inference • Exponential Families •
Newton Algorithm • Bayesian Neural Networks

Context

The emergence of artificial neural networks has led to a tremendous revolution in Machine Learning. Their limitless expressiveness combined with their ease of training makes them a universal predictive tool. However, their interpretation and the estimation of their uncertainty remains difficult. Their practical use is therefore reduced. In this context, some suggest the idea of using random weights instead of deterministic weights. Indeed, at each sampling, different predictions are generated. It is then easier to estimate the intrinsic uncertainty of the networks.

Randomness, however, creates new difficulties. More parameters need to be optimized. For example, in the case of a Gaussian, for N parameters in the deterministic case, a random equivalent version consists of $O(N^2)$ parameters (mean + covariance matrix). Knowing that the most efficient networks are made up of billions of parameters, finding an efficient optimization algorithm becomes an essential issue.

Missions and goals

In this exciting search for efficient algorithms, it was proposed in Fast and Scalable Bayesian Deep Learning by Weight-Perturbation in Adam (KHAN, Mohammad Emtiyaz, et al., 2018) a variational inference approach called VON. This algorithm uses the fascinating properties of exponential families to obtain an algorithm as efficient as Adam or RMSProp. VON assumes that all the variables (the weights of the neural networks) follow a Gaussian law. This assumption facilitates calculations and gives very good results in practice. However, such a priori on weights is not very informative.

My main mission was therefore to transform VON: consider probabilities no longer on the weights of the neural network, which are not very informative, but on the functions generated by a set of weights

for this neural network. Thus, depending on the business expertise, we can directly weight the functions that interest us.

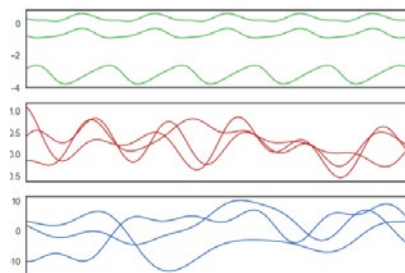
Abstract

First, we study the VON algorithm in details. In particular, VON is based on exponential families and their amazing properties.

In a second step, we use the notion of Minimal Conditional Exponential Family (LIN, Wu, et al., 2019) to effectively define a probability on the functions generated by the architecture of the neural network.

Thirdly, we use analogies with Gaussian processes, to develop the much sought-after algorithm having the same properties as VON but being more informative.

Finally, as the last step, we focus on understanding the effectiveness of VON and its link to Taylor's development.



$$k(x, x') = e^{-2 \sin^2(\pi|x-x'|)}$$

$$a(x) = \sin x$$

We map a Gaussian Process priors with a RBF kernel to BNNs with a sync activation functions. It is clear that the optimized samples have taken on the curviness of the GPP samples © Daniel Flam-Shepherd, James Requeima, David Duvenaud (avec leur autorisation), image tirée de DUVENAUD, David, FLAM-SHEPERD, Daniel et REQUEIMA, James, 2017, *Mapping Gaussian Process Priors to Bayesian Neural Networks* [en ligne], p. 5. Disponible sur : <https://danielflamshep.github.io/65.pdf>

Éléments de bibliographie

KHAN, Mohammad Emtiyaz, et al., 2018. Fast and Scalable Bayesian Deep Learning by Weight-Perturbation in Adam. *arXiv e-prints* [en ligne], 2018, vol. 1806, arXiv:1806.04854. [Consulté le 1 avril 2020].

LIN, Wu, KHAN, Mohammad Emtiyaz et SCHMIDT, Mark, 2019. Fast and Simple Natural-Gradient Variational Inference with Mixture of Exponential-family Approximations. *arXiv:1906.02914* [en ligne], 30 octobre 2019 [Consulté le 1 avril 2020].



Anatole PARRE

Élève ingénieur concours commun
Master Mathématiques, vision, apprentissage (MVA)
École des Ponts ParisTech et ENS Paris-Saclay

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Criteo

Tutrice professionnelle • *Organization Tutor* :
Anne-Marie TOUSCH, Machine Learning Researcher

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Axel PARMENTIER, chercheur, CERMICS, École des Ponts ParisTech



Mettre les systèmes de recommandation à l'échelle

Système de recommandation • Apprentissage profond • Graph • Optimisation

Contexte

On cherche à mettre à l'échelle les systèmes de recommandation par apprentissage profond pour être capable de recommander des produits parmi un catalogue de l'ordre de 10^9 produits.

Missions et objectifs

Les objectifs de ce projet de fin d'études sont de produire un algorithme permettant de recommander des produits parmi un catalogue de très grande taille. Dans un premier temps, nous avons étudié la bibliographie et les méthodes déjà existantes, puis nous avons développé notre propre méthode, enfin nous l'avons testée sur des données de référence.

Résumé

Dans un premier temps, nous présentons les filtres de Bloom. Ce sont des tables de hachages indépendantes des données, qui permettent d'encoder et de décoder une séquence de produits. Le décodage garantit une borne supérieure de l'erreur commise. Les tables de hachages générées par séquence sont ensuite utilisées en entrée d'un réseau de neurones profonds pour recommander un produit à partir de la séquence.

Nous introduisons ensuite des filtres de Bloom adaptatifs qui dépendent des données et qui permettent de minimiser le nombre d'erreurs. Ces tables de hachages sont apprises grâce à des méthodes d'optimisation discrète. Deux méthodes d'apprentissage sont possibles. En apprenant les valeurs de toutes les tables de hachages en un calcul de direction de gradient, ou en effectuant de manière itérative plusieurs pas de descente de gradient, nous montrons l'équivalence de notre méthode dans le cas discret avec la méthode de *Matching Pursuit*.

Nous testons enfin ces filtres de Bloom adaptatifs sur un ensemble de jeux de données classiques.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Scaling Recommender Systems

Recommender system • Deep learning • Graph • Optimisation

Context

We want to scale deep recommender systems (recommender systems that are based on deep learning methods) to be able to recommend products among a catalog of 10^9 products.

Missions and goals

The objectives of this final year project are the production of an algorithm that allows to recommend products among a very large catalog. First, we studied the bibliography and existing methods. Then we developed our own method, and finally we tested it on classical data sets.

Abstract

First, we introduce and describe Bloom Filters. Bloom Filters are hashing tables, that are data-independant. They allow us to encode and decode a sequence of products into a smaller space. Decoding guarantees an error rate lower than a specific threshold. This threshold depends on the number of products, the sparsity of the encoded sequence and the number of hashing functions in the table. Hashing tables built from sequences are used as input to a deep neural network to recommend a product from the sequence.

Then, we introduce our Adaptive Bloom Filters. They depend on the data and they allow us to minimize the error rate. These hashing tables are learned thanks to discrete optimization methods. Two different learning methods are available. One can learn the whole hashing table with only one gradient direction calculus. One can also invest more computation and compute several gradients to iteratively learn the values of the hashing table. We show that our method is equivalent in the discrete case to the Matching Pursuit.

Then we test our Adaptive Bloom Filters on classical recommender systems data sets.

Éléments de bibliographie

CISSE, Moustapha M., USUNIER, Nicolas, ARTIÈRES, Thierry et GALLINARI, Patrick, 2013. Robust Bloom Filters for Large MultiLabel Classification Tasks. BURGES, C. J. C., *et al.*, *Advances in Neural Information Processing Systems 26* (en ligne). Curran Associates, Inc., p. 1851–1859. Disponible à l'adresse : <http://papers.nips.cc/paper/5083-robust-bloom-filters-for-large-multilabel-classification-tasks.pdf> [consulté le 04.03.2020].

MIKOLOV, T., SUTSKEVER, I., CHEN, K., CORRADO, G. S., *et al.*, 2013. Advances in Neural Information Processing Systems 26. Curran Associates, Inc., 2013, vol. 3111, p. 3119. Disponible à l'adresse : <http://papers.nips.cc/paper/5083-robust-bloom-filters-for-large-multilabel-classification-tasks.pdf> [consulté le 04.03.2020].



Romain PETIT

Élève ingénieur concours commun
Master Mathématiques, vision, apprentissage (MVA),
École des Ponts ParisTech et ENS Paris-Saclay

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
CERMICS

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Yohann DE CASTRO, chercheur, CERMICS, École des Ponts ParisTech

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Gabriel PEYRE, chercheur, CNRS et DMA, École normale supérieure



Modèles de mélange et super-résolution de signaux parcimonieux sans grille

Modèles de mélange • Super-résolution • Parcimonie •
Régularisation de problèmes inverses

Contexte

De récents travaux ont montré qu'il était possible de retrouver avec une précision arbitrairement grande les détails fins d'une certaine classe de signaux, dits parcimonieux, à partir d'observations partielles et possiblement bruitées. Ce projet de fin d'études s'intéresse aux liens entre ce domaine de recherche, qu'on appelle super-résolution de signaux parcimonieux sans grille, et le problème d'estimation des paramètres d'un modèle de mélange.

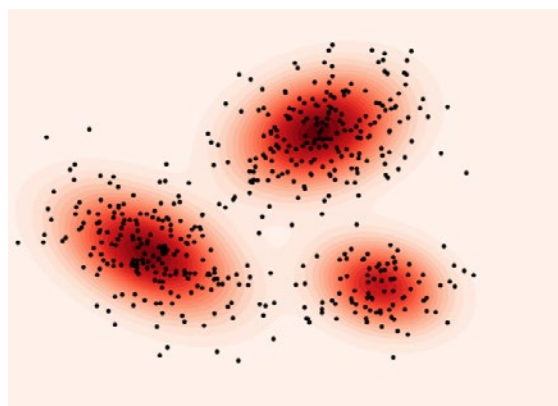
Missions et objectifs

Le premier objectif de ce travail était de quantifier théoriquement la fiabilité avec laquelle il était possible d'estimer les paramètres d'un modèle de mélange à partir d'un échantillon. Le second était de proposer un nouvel algorithme permettant d'effectuer en pratique cette estimation, puis d'en étudier les propriétés théoriques et les performances numériques. Il s'agissait également d'étudier précisément l'influence du bruit statistique sur les garanties théoriques démontrées et les performances de l'algorithme proposé.

Résumé

En statistique paramétrique, les modèles de mélange sont utilisés pour modéliser la présence de groupes partageant de fortes similarités au sein d'une population hétérogène. Le problème d'inférence des paramètres du modèle consiste alors, à partir de l'observation de la population globale, à estimer le nombre et les caractéristiques des groupes qui la constituent. Usuellement, on effectue l'estimation en considérant un problème d'opti-

misation dont la résolution est notoirement difficile. Il est de ce fait standard de ne le résoudre que de manière approchée, grâce à des heuristiques. Dans ce projet de fin d'études, je me suis intéressé à une approche différente, qui consiste à considérer les paramètres inconnus comme un signal parcimonieux et l'échantillon représentatif de la population comme une observation partielle et bruitée de ce signal. L'estimation peut alors être effectuée à l'aide de techniques de super-résolution, ce qui permet de quantifier précisément la fiabilité avec laquelle on peut retrouver les paramètres pour un échantillon de taille donnée et de proposer de nouveaux algorithmes dont les propriétés théoriques sont avantageuses. Mon travail a principalement consisté à prouver de telles propriétés dans quelques cas simples, puis à implémenter deux nouveaux algorithmes d'estimation pour étudier leurs performances en pratique.



Visualisation de la fonction de densité d'un mélange de trois gaussiennes et d'un échantillon tiré selon cette loi © Romain Petit, 2019.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Off the grid sparse super-resolution for parameter estimation in mixture models

Mixture models • Super-resolution • Sparsity •
Regularization of inverse problems

Context

It has recently been shown that it is possible to recover the fine scale details of certain signals, which are said to be sparse, from a limited number of possibly noisy observations. In this final year project, the link between this line of work, which is usually called off the grid sparse super-resolution, and parameter estimation in mixture models is investigated.

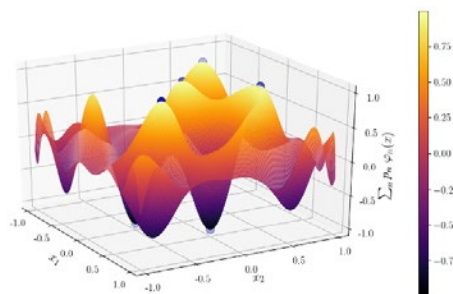
Missions and goals

The first aim of the project was to derive theoretical bounds on the error one would make by estimating the parameters of a mixture model from a sample. The second was to design, study, and implement a new algorithm allowing one to perform the estimation. Particular emphasis was placed on studying the influence of statistical noise on both the error bounds and the performance of the proposed algorithm.

Abstract

Mixture models are commonly used in parametric statistics to account for the existence of groups within which there exist strong similarities in a diverse population. Inference in such models then amounts to estimating the number and the attributes of such groups by observing a sample randomly drawn from the whole population. This is usually done by considering a related opti-

mization program, which is known to be difficult to solve. One hence often relies on heuristics to look for an approximate solution of this program rather than for the optimal one. In this project, I used a slightly different approach which consists of viewing the unknown parameters as a sparse signal, and the sample drawn from the population as a set of noisy observations of this signal. Using this viewpoint, the estimation can be carried out by relying on super-resolution techniques, which allows one to derive bounds on the estimation error, and to design new algorithms exhibiting interesting features. My work was mainly about proving theoretical recovery guarantees in some simple situations, and implementing two new algorithms to numerically study their performance.



Certificat dual associé à une mesure atomique © Romain Petit, 2019.

Éléments de bibliographie

- DE CASTRO, Johann et GAMBOA, Fabrice, 2012. Exact reconstruction using Beurling minimal extrapolation. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 1 novembre 2012, vol. 395, n° 1, p. 336-354. DOI 10.1016/j.jmaa.2012.05.011.
- DUVAL, Vincent et PEYRÉ, Gabriel, 2015. Exact Support Recovery for Sparse Spikes Deconvolution. *Foundations of Computational Mathematics*, 1 octobre 2015, vol. 15, n° 5, p. 1315-1355. DOI 10.1007/s10208-014-9228-6.
- KERIVEN, Nicolas, BOURRIER, Anthony, GRIBONVAL, Rémi et PÉREZ, Patrick, 2018. Sketching for large-scale learning of mixture models. *Information and Inference: A Journal of the IMA*, 19 septembre 2018, vol. 7, n° 3, p. 447-508. DOI 10.1093/ima/ii/iax015.



Juliette RENGOT

Élève ingénieure concours commun
Master Mathématiques, vision, apprentissage (MVA)
École des Ponts ParisTech et ENS Paris-Saclay

Promotion 2018

Mission recherche réalisée à
GIPSA-lab

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Gérard BALLY, directeur de recherche

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pascal MONASSE, enseignant, École des Ponts ParisTech



Donner à un robot le sentiment d'être observé

Robotique • Apprentissage automatique • Annotation automatique •
Analyse du regard • Temps-réel

Contexte

Nous utilisons spontanément le regard pour transmettre des informations et des sentiments à nos interlocuteurs. Lorsque nous interagissons avec un robot, et en particulier avec un humanoïde, nous sommes troublés s'il n'est pas capable de reproduire cette attitude naturelle. Enseigner à un robot la compréhension et l'usage du regard comme un outil significatif de la communication non-verbale est très difficile.

Missions et objectifs

L'objectif de ce projet de fin d'études est de permettre à un robot humanoïde de détecter en temps réel s'il est observé lorsqu'il prend part à une interaction multipartite. C'est une étape indispensable si nous voulons par la suite lui donner des réactions adaptées (se tourner vers la personne qui le regarde par exemple). Ce projet améliore l'état de l'art sur deux points : la détection doit pouvoir être faite dans la vision centrale mais aussi périphérique du robot et elle ne doit pas empêcher le robot de bouger son corps et ses yeux.

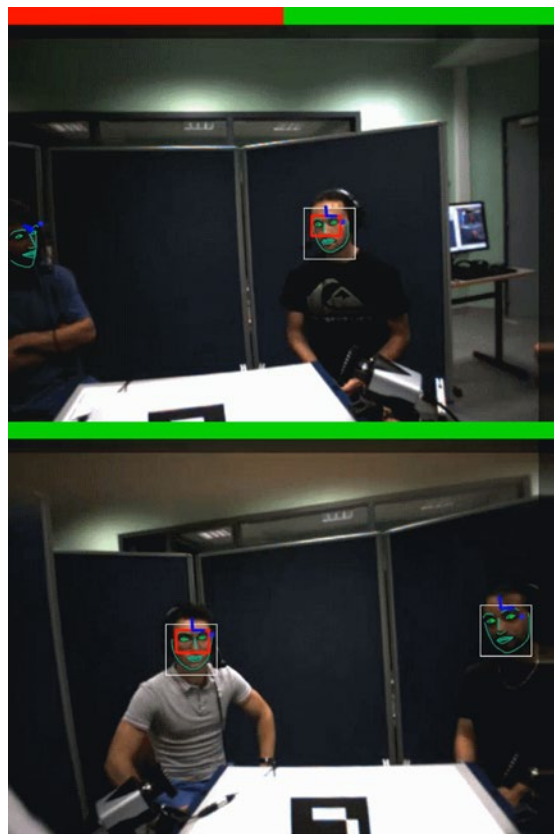
Résumé

Le détecteur proposé a été conçu pour un robot iCub, nommé NINA. Cet humanoïde possède deux yeux articulés dans lesquels des caméras VGA sont embarquées. Le jeu de données est constitué des flux vidéos enregistrés alors que NINA, contrôlée à distance par un pilote humain, et deux volontaires jouaient à Unanimo. Il s'agit de découvrir une liste de mots par association d'idées. Cette base de données est particulièrement difficile à exploiter à cause de la faible résolution et du flou de bougé.

La première étape du projet de fin d'études consistait à annoter automatiquement les données. Les visages présents dans le champ de vision du robot sont détectés avec OpenFace. Une estimation de la direction de leur regard est aussi fournie. On calcule facilement les points de fixation. Ensuite, une méthode basée sur du « GMM clustering » permet d'annoter chaque image de la vidéo en spécifiant si une personne regarde ou non le robot. Ces

annotations permettent ensuite d'entraîner des réseaux de neurones convolutionnels pour faire cette détection automatiquement et en temps réel. Plusieurs architectures ont été testées et évaluées.

Des résultats intéressants ont été atteints. Le meilleur modèle est capable de prédire si quelqu'un regarde le robot avec une précision de 71%.



Résultat de la détection automatique des regards dirigés vers le robot. Un rectangle vert (rouge) en haut de l'image signifie que la personne regarde (ne regarde pas) le robot © Juliette Rengot, 2019.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Endowing a robot with the sense of being watched

Robotics • Machine Learning • Automatic annotation •
Gaze tracking • Real-time processing

Context

Humans spontaneously use gazes to communicate information or feelings to their conversational partners. When they interact with a robot, especially a humanoid, they are disturbed if it is not able to reproduce this natural behaviour. But, teaching a robot to understand and use gazes as meaningful non-verbal cues is a difficult task.

Missions and goals

This final year project aims at endowing a robot with the sense of being watched, while taking part in a multiparty interaction. It should be able to detect when someone is looking at it. This skill is mandatory if we imagine giving it natural reactions (for example, looking at the person who is also looking at it). This extends the state-of-the-art in two directions: we want to detect foveal and peripheral robot-directed gaze and to make this detection while the robot is moving its own body including its eyes.

Abstract

The proposed detector was designed for an iCub robot called NINA. This humanoid robot has two articulated eyes in which VGA cameras are embedded. The data set is made up of VGA video streams, recorded while NINA was remotely controlled by a human pilot to play game sessions (Unanimo) with two human partners. The game consists of discovering a list of words by association of ideas. This database is particularly difficult to exploit, due to low resolution and motion blur.

The first step of the final year project was to automatically annotate the data set. Faces are detected with Openface. An estimate of the direction of their gaze is also provided. Focal points are easily calculated. Then, a method based on "GMM clustering" allows us to annotate each image of the video by specifying whether or not a person is watching the robot. These annotations enable us to train convolutional neural networks to do this detection automatically and in real time. Several architectures have been tested and evaluated.

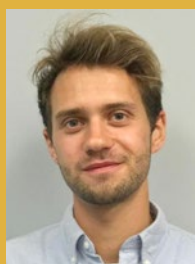
Interesting results have been achieved. The best model is able to predict if someone is looking at the robot with an accuracy of 71%.



Dispositif expérimental © Juliette Rengot, 2019.

Élément de bibliographie

SCHILLINGMANN, Lars et NAGAI, Yukie, 2015. Yet another gaze detector: An embodied calibration free system for the iCub robot. In : 2015 IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids), 3-5 novembre 2015, Séoul, p. 8-13. DOI : 10.1109/HUMANOIDS.2015.7363515.



Louis TILLOY

Élève ingénieur concours commun
Master of Engineering, Industrial Engineering and Operations Research,
UC Berkeley, Californie, États-Unis

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Matterport

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Azwad SABIK, Deep Learning Engineer

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pierre-Alain LANGLOIS, doctorant, LIGM, École des Ponts ParisTech



École des Ponts
ParisTech



Classification de modèles 3D avec réseaux de neurones convolutionnels et *transformers*

Vision artificielle • Deep Learning • Modèles 3D • Classification

Contexte

De nombreuses entreprises qui ont un lien avec le bâtiment – comme les compagnies d'assurance, l'immobilier ou la construction – dépendent encore fortement de l'interaction avec les propriétés physiques en personne et/ou de nombreuses photos qui ne permettent souvent pas de se faire une bonne représentation de ce que sont les véritables dimensions de l'espace. Si vous avez déjà cherché un nouveau logement en vous basant sur des photos, vous comprenez certainement cela. Matterport, une entreprise de haute technologie située dans la Silicon Valley, tente de changer la façon dont les gens interagissent avec le monde physique. L'entreprise fournit des produits matériels et logiciels dans le domaine de la vision artificielle, principalement une plateforme permettant de scanner et de partager des propriétés en passant par des visites virtuelles en 3D détaillées et précises. J'ai effectué mon projet de fin d'études dans l'équipe de *deep learning* et de vision artificielle.

Missions et objectifs

Mon projet était de concevoir et de construire un réseau de neurones pour classer automatiquement des modèles 3D parmi un ensemble de catégories données. Matterport travaille à enrichir de plus en plus les données que l'on peut obtenir automatiquement à partir du jumeau virtuel d'un bâtiment : ce projet s'inscrit dans cette lignée.

Résumé

La tâche qui a été abordée dans ce travail est similaire à une autre tâche très connue dans le domaine de la vision artificielle : la classification d'images 2D. La différence

entre mon projet et cette tâche classique réside d'abord dans le fait que des données 3D sont utilisées à la place de données 2D. Ce projet est également différent des autres tâches de classification de données 3D dans le sens où il ne vise pas à classer un modèle 3D d'un objet, mais il vise à classer une structure 3D complète représentant tout l'intérieur d'un espace physique (par exemple une maison), ce qui signifie qu'il y a de nombreux détails à capturer.

Un travail de recherche sur la littérature dans le domaine de la classification appliquée aux données structurées en 3D a révélé les nombreuses limites de ces approches (coût élevé en ressources, forte difficulté à capturer des détails et architectures complexes), c'est pourquoi il a été choisi de travailler sur des données 2D : au lieu d'utiliser un modèle 3D comme entrée du réseau de neurones, on utilise les panoramas qui sont à l'origine pris pour créer ce modèle 3D. L'architecture finale du réseau de neurones consiste à extraire des caractéristiques de haut niveau des panoramas à l'aide de réseaux de neurones convolutionnels (CNN) et de *Transformers* pour finalement prédire une catégorie.



Schéma du processus de classification de modèles 3D © Matterport Inc. (avec leur autorisation), image modifiée par Louis Tilloy, 2019.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Classification of 3D models using Convolutional Neural Networks and Transformers

Computer Vision • Deep learning • 3D models • Classification

Context

Many businesses that revolve around physical spaces – like insurance, real estate or construction – still rely heavily on on-site interaction with the physical properties and/or on many photos that often do not allow to have a good feeling of what the true spatial dimensions are. If you ever looked to move to a new place based on pictures, you probably understand that point. This is why Matterport is trying to change the way people interact with physical spaces. Matterport is a tech company based in the Silicon Valley that provides hardware and software products in the field of computer vision, mainly a platform to scan and share properties with detailed and accurate virtual 3D tours. Their Computer Vision and Deep Learning team has been growing heavily the past few years, and this is where I did my final year project.

Missions and goals

My main project was to design and build a neural network to automatically tag 3D models from a set of given categories. Matterport is trying to enrich more and more the data that you can get out of a virtual twin of a physical space, and this project was part of this effort.

Abstract

The task that was tackled in this work is similar to another one well-known in the field of Computer Vision: the classification of 2D images. The difference between my project and this classic task is first the fact that the 3D data is used instead of 2D data. It is also different from other 3D classification tasks in the sense that this project does not aim to classify a 3D model of an object, but it aims at classifying a full 3D structure representing the whole interior of a physical space (e.g. a house), which means there are many details to capture.

Reviewing literature in the field of classification applied to 3D structured data revealed many limits of such approaches (high cost in resources, strong difficulty to capture details and complex architectures), which is why the choice made was to fall back on 2D data: instead of using the 3D structure as input to a neural network, we use the panoramas that are originally taken to create the 3D model. The final neural network architecture extracts high level features from the panoramas using Convolutional Neural Networks and Transformers to finally output a predicted category.



Diagram of the process of the classification of 3D spaces © Matterport Inc. (avec leur autorisation), as modified by Louis Tilloy, 2019.



Brice FLAMENCOURT

Élève ingénieur concours commun, double diplôme
ENS Cachan

Promotion 2018

Début de doctorat réalisé au
Laboratoire de mathématiques d'Orsay

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Konstantin PANKRASHKIN, maître de conférence à l'université Paris-Sud,
équipe ANEDP



Asymptotique spectrale pour des interactions delta à point de rebroussement

Delta-interaction • Analyse spectrale • Analyse asymptotique •
Opérateur de Schrödinger

Contexte

L'étude menée au cours de ce projet s'inscrit dans le cadre de mon mémoire pour le master Analyse, modélisation, simulation de l'université Paris-Saclay ; il s'agit également d'une ouverture vers un sujet de thèse. Elle porte sur l'analyse spectrale d'un modèle de confinement de particules en mécanique quantique, pouvant servir dans la modélisation de matériaux comme le graphène. Les graphes quantiques sont un premier moyen d'étudier de tels problèmes, mais ils décrivent mal les phénomènes d'effet tunnel par exemple. Un meilleur modèle est de plonger ces graphes dans un espace euclidien et d'étudier les propriétés de l'opérateur de Schrödinger avec un potentiel delta supporté par ce graphe.

Missions et objectifs

Le but visé est l'adaptation des techniques d'analyse asymptotique en géométrie spectrale, utilisées par exemple pour déterminer la limite des valeurs propres de l'opérateur de Schrödinger avec conditions de transmissions le long d'hypersurfaces lisses d'un espace euclidien. On cherche donc la limite des valeurs propres de l'opérateur de Schrödinger pour des particules confinées sur des courbes du plan contenant un point de rebroussement.

L'objectif est également de s'ouvrir à un sujet de recherche et d'acquérir les outils fondamentaux pour pouvoir travailler par la suite plus en profondeur dans ce domaine.

Résumé

On considère une courbe de Jordan Γ du plan, que l'on suppose lisse, sauf en l'origine, au voisinage de laquelle elle se décrit comme l'ensemble des points (x, y) tels que $x \geq 0$ et $|y| = x^n$ pour un certain $n > 1$. On peut définir l'opérateur de Schrödinger avec potentiel δ comme l'opérateur auto-adjoint sur $L^2(\mathbb{R}^2)$ associé à une forme quadratique fermée et de domaine $H^1(\mathbb{R}^2)$. Celle-ci correspond à l'intégrale du gradient au carré sur \mathbb{R}^2 moins le terme de potentiel, donné par l'intégrale du carré de la fonction sur Γ relativement à la mesure de Hausdorff de dimension 1, multiplié par un paramètre α . On regarde alors le comportement des valeurs propres de cet opérateur quand α tend vers l'infini, ce qui modélise le cas où la courbe devient fortement attractive. On détermine un développement asymptotique de ces valeurs propres.

Spectral asymptotics for delta interactions supported by curves with cusps

Delta-interaction • Spectral analysis • Asymptotics analysis

Context

This project was carried out in the context of my thesis for the Master Analysis, Modélisation, Simulation at Paris-Saclay University. It is also a first approach for my Phd subject. It deals with the spectral analysis of a model of localization for quantum particles. This type of object is useful in the physical modelisation of the graphen for example. Quantum graphs are a first way to analyse such problems, but they don't describe the tunneling effect well. A better model is to immerse these graphs in Euclidean space and study the properties of the Schrödinger operator with a δ -potential supported by this graph.

Missions and goals

The aim of this work is to adapt some tools of asymptotics analysis in spectral geometry, used for example to compute the limit of the eigenvalues of the Schrödinger's operator with transmission conditions along smooth hypersurfaces of an Euclidian space. Then, we search for an expression for the limit of the eigenvalues of the Schrödinger's operator for confined particles on curves with cusp.

The goal is also to learn the basics about a topic of research, in order to work on it during my Phd.

Abstract

We consider a Jordan curve Γ of the plan, which we assume to be smooth except at the origin. Moreover, in a vicinity of this point, this curve is described by the set of points (x,y) such that $x \geq 0$ and $|y| = x^n$ for some $n > 1$. One can define the Schrödinger's operator with δ -potential as the self-adjoint operator on $L^2(\mathbb{R}^2)$ associated to a closed quadratic form of domain $H^1(\mathbb{R}^2)$. This form corresponds to the integral of the square of the gradient on \mathbb{R}^2 minus the potential, given by the integral of the square of the function over Γ with respect to the Hausdorff measure in one dimension, multiplied by a parameter α . We study the behavior of the eigenvalues when α grows to infinity. We then give an asymptotic expansion of these eigenvalues.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Éléments de bibliographie

EXNER, Pavel, 2008. Leaky quantum graphs: a review. In : EXNER, P., et al., *Proceedings of Symposim of Pure Math*, 2008, pp 523-564.

DUCHÊNE, V. et RAYMOND, N., 2014. Spectral asymptotics of a broken δ -interaction. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* [en ligne], 2014, vol. 47, n° 15, p. 155-203. DOI 10.1088/1751-8113/47/15/155203 [consulté le 11.05.2020].

EXNER, Pavel, YOSHITOMI, Kazushi, 2002. Asymptotics of eigenvalues of the Schrödinger operator with a strong δ -interaction on a loop. *Journal of Geometry and Physics* [en ligne], 2002, vol. 41, n° 4, p. 344-358. DOI 10.1016/S0393-0440(01)00071-7 [consulté le 11.05.2020].



Gaspard KEMLIN

Élève ingénieur concours commun
Master Modélisation, analyse, simulation (MAS), Sorbonne Université
et École des Ponts ParisTech

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
INRIA, équipe MATHERIALS

Tuteur professionnel et académique • *Organization and Academic Tutor* :
Antoine LEVITT, chercheur, INRIA, équipe MATHERIALS



Analyse théorique et numérique d'algorithmes pour le calcul de structure électronique

Simulation moléculaire • Analyse numérique • Modélisation •
Chimie quantique • Structure électronique

Contexte

La simulation moléculaire consiste à simuler, à l'échelle atomique, l'évolution de systèmes allant de petites molécules à des systèmes biologiques complexes ou des matériaux. Améliorer ces simulations en vitesse et en précision est un défi d'autant plus important quand les expériences sont chères ou impossibles à réaliser en pratique et c'est pourquoi la simulation moléculaire est devenue au cours des dernières décennies un outil fondamental en chimie, physique de la matière condensée, biologie moléculaire, nano-sciences, etc. Le calcul de structure électronique en particulier vise à déterminer l'agencement des électrons autour d'une molécule et les niveaux d'énergies qu'ils occupent, ce qui est fondamental dans la détermination des propriétés physico-chimiques des molécules.

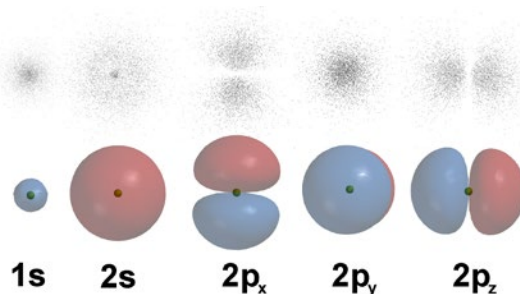
Missions et objectifs

- Découvrir et étudier les modèles mathématiques utilisés en chimie quantique ;
- analyser et comparer différentes approches du problème, ainsi que les algorithmes utilisés en pratique pour obtenir des solutions approchées par ordinateur ;
- poser les bases d'un travail de recherche sur 3 ans au cours d'une thèse commençant à la suite du projet de fin d'études.

Résumé

Après un premier contact avec les modèles mathématiques utilisés en chimie quantique, une bibliographie (non-extensive) de l'état de l'art et des travaux déjà réalisés a été menée pour se familiariser avec les concepts mathématiques et les algorithmes les plus courants. Cela

m'a permis de découvrir la simulation moléculaire et ses applications en physique et chimie quantique afin de lancer des travaux sur 3 ans pour la thèse en mathématiques appliquées qui allait suivre le projet de fin d'études. Une fois cette première étape réalisée, nous nous sommes concentrés sur la comparaison de deux approches bien connues des chimistes, aux philosophies différentes, afin de proposer une explication mathématique à certains phénomènes numériques, notamment liés à la difficulté de converger vers une solution dans certains cas. Suite à ce premier travail théorique, nous avons testé numériquement nos résultats sur un modèle uni-dimensionnel simple.



Représentation des nuages de probabilité de présence de l'électron (en haut) et des isosurfaces à 90 % (en bas) pour les orbitales 1s, 2s et 2p. Les couleurs indiquent la phase de la fonction d'onde : positive en rouge, négative en bleu. © Benjah-bmm27, 2006, CCo (source : Wikimedia Commons).

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Theoretical and numerical analysis of some algorithms for electronic structure

Molecular simulation • Numerical analysis • Modeling •
Quantum chemistry • Electronic structure

Context

Molecular simulation aims to simulate, at the atomistic level, the evolution of molecular systems ranging from small molecules to complex biological systems or materials. Enhancing these simulations in speed and accuracy is an important challenge, especially when experiments are expensive or impossible to realize. Therefore, it has become a fundamental tool in chemistry, condensed matter physics, molecular biology, materials science and nano-sciences, and it has known an important development in recent decades. Electronic structure in particular consists of computing the distribution of electrons around a molecule, the energy levels they occupy, etc., which is fundamental in determining the physical and chemical properties of a molecule.

Missions and goals

- Discovering and studying the mathematical models used in quantum chemistry;
- analyzing and comparing different approaches to the problem and the algorithms used in practice to compute approximate solutions with computers;
- lay the foundation for a three-year research work of the PhD that will follow.

Abstract

After a first contact with the mathematical models used in quantum chemistry, a (non-exhaustive) bibliography of the state of the art and previous works has been realized in order to become familiar with the most common mathematical concepts and algorithms. This has allowed me to discover molecular simulation and its applications in physics and quantum chemistry, with the objective of starting a three-year PhD in applied mathematics afterward. Once this first step was realized, we focused on the comparison of two approaches both well known by chemists, with different philosophies, in order to propose a mathematical view on some numerical phenomena, such as the difficulty to converge to a solution in some cases. After this theoretical work, we numerically tested our results on a simple uni-dimensional test case.

$$\begin{aligned} & \inf \{ W(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_M), (\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_M) \in \mathbb{R}^{3M} \}, \\ W(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_M) & := U(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_M) + \sum_{1 \leq k < l \leq M} \frac{z_k z_l}{|\bar{x}_k - \bar{x}_l|}, \\ U(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_M) & := \inf \{ \langle \Psi_e, H_e \Psi_e \rangle, \Psi_e \in \mathcal{H}_e, \|\Psi_e\|_{L^2} = 1 \}, \\ H_e & := -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \Delta_{x_i} - \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M \frac{z_k}{|x_i - \bar{x}_k|} + \sum_{1 \leq i < j \leq N} \frac{1}{|x_i - x_j|}, \\ \mathcal{H}_e & := \bigwedge_{i=1}^N H^1(\mathbb{R}^3, \mathbb{C}). \end{aligned}$$

Formalisation mathématique du problème à N corps rencontré en chimie quantique. Le minimiseur Ψ s'appelle la fonction d'onde et représente l'état quantique des électrons gravitant autour des noyaux de la molécule.

Élément de bibliographie

CANCÈS, Éric, LE BRIS, Claude et MADAY, Yvon, 2006. *Méthodes mathématiques en chimie quantique : une introduction*. Berlin, Allemagne, États-Unis d'Amérique : Springer.



Tong ZHAO

Élève Ingénieure AST
Master Mathématiques, vision, apprentissage (MVA)
École des Ponts ParisTech et ENS Paris-Saclay

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Inria Sophia Antipolis-Méditerranée

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Pierre ALLIEZ, chef d'équipe

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Mathieu AUBRY, chercheur, École des Ponts ParisTech



Reconstruction de Surfaces Progressive avec Shape Priors

Reconstruction • Progressif • Primitive • Optimisation

Contexte

L'objectif principal de la reconstruction de surface est de récupérer la représentation numérique d'une forme physique numérisée, où les données peuvent contenir une grande variété de défauts. C'est un problème mal posé et l'approche courante consiste à régulariser le problème à l'aide de *priors* spécialisés.

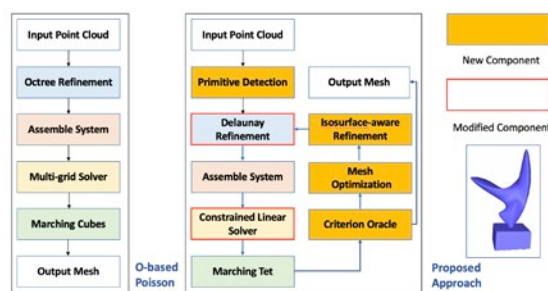
Missions et objectifs

Dans ce projet, nous allons concevoir un algorithme qui trouve une représentation implicite pour un objet 3D étant donné un nuage de points orienté échantillonné sur ou près de la surface. Il doit être progressif, adapté aux données et guidé par des critères et des exigences définis par l'utilisateur.

Résumé

Le rapport décrit mon projet de recherche lors du stage de fin d'études pendant la période d'avril à septembre 2019 dans l'équipe Titane à Inria Sophia Antipolis, en collaboration avec le groupe CG à Télécom ParisTech. Nous avons exploré une nouvelle méthode de reconstruction de surface implicite progressive qui calcule un maillage de surface à partir d'un nuage de points 3D avec des normales orientées, guidé par des formes canoniques détectées. La reconstruction de surface est un problème mal posé, en particulier pour les données chargées en détection telles que les ensembles de points avec échantillonnage non uniforme, bruit et données manquantes. L'approche courante consiste à régulariser le problème à l'aide de *priors*

(géométriques, topologiques ou de nature structurelle). Dans ce projet, nous explorons une approche de reconstruction implicite progressive avec la capacité d'affiner la fonction implicite et sa représentation, où les parties plus mal posées du problème de reconstruction sont reportées aux étapes ultérieures de la reconstruction, et où les détails géométriques fins sont résolus après avoir découvert la topologie. Plus précisément, nous exploitons une étape de détection primitive initiale pour contraindre la fonction implicite sur les zones primitives canoniques, puis entrelaçons les résolutions globales de Poisson avec raffinement et optimisation du maillage tétraèdre 3D utilisé pour représenter une fonction implicite linéaire par morceaux.



Framework 2D © Tong Zhao, 2019.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision

Progressive Surface Reconstruction with Shape Priors

Reconstruction • Progressive • Primitive • Optimization

Context

The main target of surface reconstruction is to recover the digital representation of a scanned physical shape, where the data may contain a wide variety of defects. It is an ill-posed problem and the common approach consists of regularizing the problem using specialized priors.

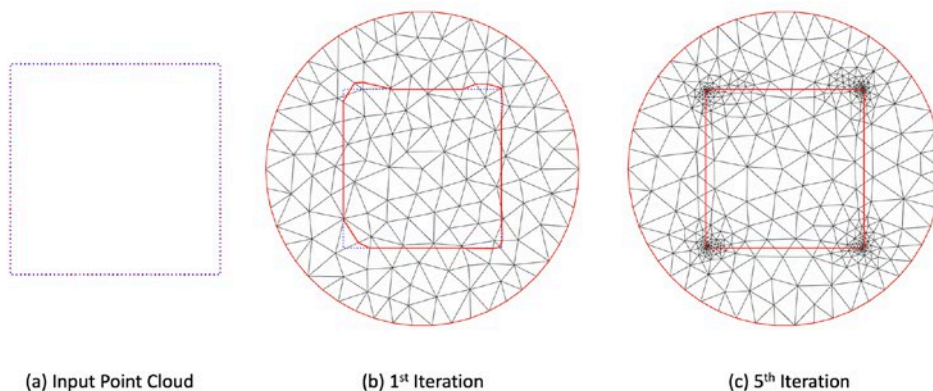
Missions and goals

In this final year project we aim at conceiving an algorithm which finds an implicit representation for a 3D object given an oriented point cloud sampled on or near the surface. It should be progressive, data-adapted and it is guided by user-defined metrics and requirements.

Abstract

This master thesis describes my final year research project, carried out from April to September 2019 in the Titane project-team at Inria Sophia Antipolis, and in collaboration with the CG Group at Telecom ParisTech. We explored a novel progres-

sive implicit surface reconstruction method which computes a surface mesh from a 3D point cloud with oriented normals, guided by detected canonical shapes. Surface reconstruction is an ill-posed problem, especially for defect-laden data such as point sets with non-uniform sampling, noise and missing data. The common approach consists of regularizing the problem using so-called priors (geometric, topological or structural in nature). In this project, we explore a progressive implicit reconstruction approach with capability to refine the implicit function and its representation, where the most ill-posed parts of the reconstruction problem are postponed to later stages of the reconstruction, and where the fine geometric details are resolved after discovering the topology. More specifically, we leverage an initial primitive detection step to constrain the implicit function on canonical primitive areas, then interleave global Poisson solves with refinement and optimization of the 3D tetrahedron mesh used to represent a piecewise linear implicit function.





Antoine FRANÇOIS

Élève ingénieur concours commun
Master parisien de Recherche opérationnelle (MPRO),
Conservatoire national des Arts et métiers

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
CIRRELT

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Louis-Martin ROUSSEAU, directeur de chaire

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Axel PARMENTIER, chercheur, CERMICS, École des Ponts ParisTech



Évaluer la résolution du problème du voyageur de commerce par le *Deep Learning*

Optimisation • Machine Learning • Deep Learning • TSP

Contexte

La résolution des problèmes d'optimisation combinatoire à l'aide de méthodes de Machine Learning est une approche qui est considérée depuis peu. Les articles déjà publiés explorent beaucoup de directions différentes et les comparaisons sont donc compliquées à mettre en place car les métriques n'ont pas nécessairement été réfléchies. C'est notamment le cas pour le problème du voyageur de commerce : un problème connu d'optimisation combinatoire.

Missions et objectifs

J'ai travaillé à l'élaboration d'une nouvelle métrique pour évaluer la qualité des solutions obtenues à l'aide de méthodes de Deep Learning, dans le cadre de la résolution du problème du voyageur de commerce. L'objectif final du projet de fin d'études était la rédaction d'un article scientifique.

Résumé

J'ai travaillé sur l'état de l'art de la résolution du problème du voyageur de commerce par l'apprentissage profond. Cette expérience m'a permis de participer à l'introduction d'une nouvelle métrique visant à caractériser l'efficacité des réseaux de neurones. Celle-ci se base sur l'utilisation d'un algorithme dont la précision est paramétrable. Son fonctionnement est semblable aux méthodes de résolution de problème combinatoire par le Deep Learning dans le cas où la construction est gloutonne. Ce constat peut notamment se faire en considérant chaque approche comme une méthode basée sur la programmation dynamique. On peut alors utiliser la précision de cet oracle paramétré pour atteindre la même qualité de solution qu'une méthode de Deep Learning et ainsi lui associer une précision équivalente.

La métrique a été appliquée sur les quatre dernières publications sur le sujet ; j'ai moi-même réalisé les simulations numériques.

J'ai aussi ajouté au code des articles une phase de recherche locale après avoir obtenu les solutions construites par chaque algorithme. Cette phase fait appel au 2OPT, au 3OPT ou à Lin-Kernighan. Après simulation, nous avons découvert que l'utilisation de méthodes de construction plus poussées permet en effet de fournir des meilleurs résultats.

Evaluate solutions for the traveling salesman problem when solving with Deep Learning

Optimization • Machine Learning • Deep Learning • TSP

Context

Solving combinatorial optimization problems using Machine Learning methods is an approach that has recently been considered. The articles already published explore many different directions and comparisons are therefore complicated because the metrics have not necessarily been thought through. This is particularly the case for the Traveling Salesman Problem (TSP): a known combinatorial optimization problem.

Missions and goals

I worked on the elaboration of a new metric for evaluating the quality of solutions to the Traveling Salesman Problem determined thanks to Deep Learning based methods. The objective of my final year project was to write a scientific publication in collaboration with my supervisors.

Abstract

I worked on the state of the art regarding Deep Learning based methods for solving the Traveling Salesman Problem. I thus participated in the elaboration of a new metric supposed to characterize the efficiency of Deep Learning neural networks. Its computation is based on an algorithm that is parametrized. It functions the same way as Deep Learning based solving methods do when the construction is greedy. This can be done by considering each approach as a method based on dynamic programming. One can then use the precision of this parameterized oracle to reach the same quality of solution as a Deep Learning method and thus associate an equivalent precision to it.

The metric has been applied on the last four publications on the subject, I myself have carried out the numerical simulations.

I also tested more elaborate construction methods (based on local search), plugged on the output of the Deep Learning methods that were studied. It involved 2OPT, 3OPT and the Lin Kernighan heuristic. After simulating, we discovered that using more complex construction heuristics always yielded better results.

Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision



Olivier RIGAL

Élève ingénieur concours commun
Master parisien de Recherche opérationnelle,
Conservatoire national des arts et métiers (CNAM)

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
LocalSolver

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Julien DARLAY, directeur scientifique

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Frédéric MEUNIER, chercheur, CERMICS, École des Ponts ParisTech



Résolution de problèmes à variables mixtes au sein de LocalSolver

Optimisation • Solveur • Recherche opérationnelle

Contexte

LocalSolver est une filiale du groupe Bouygues spécialisée en optimisation et en aide à la décision. Elle développe un moteur d'optimisation basé sur différentes méthodes exactes et heuristiques. Ce solveur est utilisé dans de nombreuses applications industrielles dans des domaines variés comme, par exemple, les problèmes de *routing*, *scheduling* et *packing*.

Missions et objectifs

Les problèmes mixtes sont les problèmes d'optimisation utilisant simultanément des variables combinatoires et continues. Ces problèmes apparaissent notamment pour des problèmes de production où une variable modélise l'activation de la fabrication et une variable continue la quantité produite. L'objectif du projet était de trouver et d'implémenter une méthode générique améliorant les performances du solveur sur ce type de problèmes.

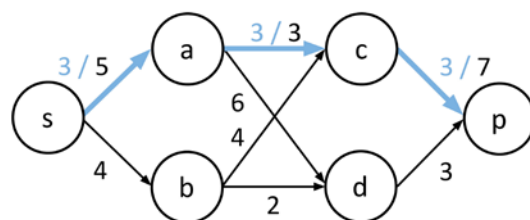
Résumé

La méthode implémentée combine des techniques de recherche locale et de résolution de problèmes linéaires continus. La recherche locale va permettre de modifier judicieusement l'affectation combinatoire du problème et le solveur de problèmes linéaires pourra ensuite en réparer la partie continue. Cette technique de résolution permet d'allier la puissance de la recherche locale, qui donne d'excellents résultats sur les problèmes purement combinatoires, et la résolution de problèmes continus, qui peut se faire dans un temps court grâce à la méthode du simplexe.

Afin d'accélérer la méthode, plusieurs stratégies ont été mises en place. Celles-ci permettent de limiter le nombre d'appels au solveur de problèmes continus grâce à un filtrage en amont des cas pour lesquels il est certain qu'aucune solution améliorante ne pourra être trouvée. Ces stratégies consistent en un calcul de différentes bornes et l'utilisation des rayons de Farkas afin de détecter des sous-problèmes continus infaisables.

De plus, l'utilisation des données fournies par le solveur de problème continu permet de guider la recherche locale. En effet, ces différentes valeurs permettent d'identifier des variables de décision combinatoires dont la modification permettrait d'améliorer la valeur optimale du sous-problème continu. Un ciblage de ses noeuds combinatoires est alors effectué par la recherche locale, ce qui permet d'augmenter le taux de mouvements améliorants lors de la résolution.

La méthode a été testée sur différents problèmes de la littérature. Celle-ci a notamment permis d'améliorer significativement les résultats de LocalSolver sur les problèmes d'*inventory routing* et de *network design*.



Une étape de résolution © Olivier Rigal, 2019.

Resolution of mixed-variables problems at LocalSolver

Optimization • Solver • Operations research

Context

LocalSolver is a subsidiary of the Bouygues group, specialized in optimization and decision support. It develops an optimization engine based on exact and heuristic methods. This solver is used in various fields in real-world application such as, for example, routing, scheduling and packing problems.

Missions and goals

Mixed-variable problems are problems which use both continuous and combinatorial variables. Those problems arise, for instance, in production planning where a combinatorial variable models the activation of productions while a continuous variable controls the level of production. The goal of the project is to find and implement a generic method that will improve the performance of the solver on this kind of problems.

Abstract

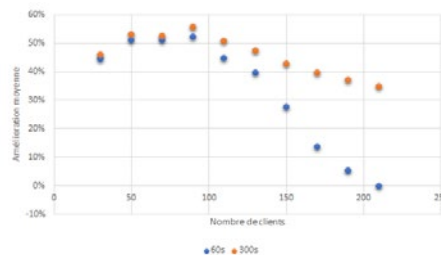
The resolution method implemented in LocalSolver consists of adding a reparation phase after each local search move. Specifically, at each iteration, a local search move modifies the combinatorial affectation in the current solution. Then, the combinatorial variables are fixed, and we try to repair the continuous part of the problem. This resolution method combines the strong performance of local search approaches on purely combinatorial problems and the simplex algorithm which can solve linear continuous problems in a short time.

With a naive implementation, we remark that a large proportion of the resolution time is spent

solving the continuous sub-problems. To limit this phenomenon, a range of check was implemented to quickly detect some sub-problems which will not improve the current solution. For instance, we use the Farkas Lemma that gives an infeasibility certificate of a linear continuous problem. Those certificates are exploited to detect unfeasible sub-problems.

Another improvement of the method consists of a better targeting of the combinatorial variables to modify the local search moves. In order to do that, we use the data provided by the simplex algorithm. When the current solution is unfeasible, we use the Farkas certificate to direct the local search towards a feasible solution. When the current solution is feasible, we use the dual data to improve the optimal value of the sub-problem.

The method provided a marked improvement in the performance of LocalSolver for different classes of problems. Those improvements are particularly important for the network design problem and the inventory routing problem.



Amélioration apportée par la méthode sur le problème d'inventary routing © Olivier Rigal, 2019.

Apprentissage statistique
Machine learning

Modélisation numérique et simulation
Numerical modelling and simulation

Optimisation et recherche opérationnelle
Optimization and operations research

Processus stochastiques et finances quantitatives
Stochastic processes and mathematical finance

Vision numérique
Computer vision

Éléments de bibliographie

- BENOIST, Thierry, GARDI, Frédéric, JEANJEAN, Antoine et ESTELLON, Bertrand, 2011. Randomized Local Search for Real-Life Inventory Routing. *Transportation Science*, 18 mars 2011, vol. 45, n° 3, p. 381-398. DOI 10.1287/trsc.1100.0360.
- GARDI, Frédéric et NOUIOUA, Karim, 2011. Local Search for Mixed-Integer Nonlinear Optimization: A Methodology and an Application. In : MERZ, Peter et HAO, Jin-Kao. *Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization*. Berlin, Heidelberg : Springer, 2011. p. 167-178.
- GLEIXNER, Ambros M., STEFFY, Daniel E. et WOLTER, Kati, 2016. Iterative Refinement for Linear Programming. *INFORMS Journal on Computing*, 24 mai 2016, vol. 28, n° 3, p. 449-464. DOI 10.1287/ijoc.2016.0692



Clément HARDY

Élève ingénieur concours commun
Master Probabilités et modèles aléatoires (PMA), Sorbonne Université

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
EDF R&D

Tutrice professionnelle • *Organization Tutor* :
Anne DUTFOY, ingénieure de recherche

Tuteurs académiques • *Academic Tutors* :
Jean-François DELMAS, chercheur, CERMICS, École des Ponts ParisTech,
et Cristina BUTUCEA, chercheuse, ENSAE



Bandes de confiance pour données fonctionnelles

Données fonctionnelles • Analyse en composante principale • Bandes de confiance •
Karhunen-Loève • Profondeur de bande

Contexte

En simulations numériques avancées, de nombreux codes de calcul scientifique traitent de processus (champs) stochastiques : processus de température, champ de contraintes, nappes de perméabilité, etc. Qu'elles soient obtenues en sortie de code de calcul ou à partir de protocoles expérimentaux, les réalisations du processus sont très souvent en nombre restreint (codes de calculs coûteux ou protocoles expérimentaux chers).

Missions et objectifs

Estimer un modèle probabiliste à partir de ces réalisations devrait permettre de déterminer des régions de confiance. Néanmoins, la définition d'une région de confiance n'est ni unique ni évidente lorsqu'il s'agit d'un processus. On souhaiterait que ces régions puissent permettre la détection de courbes anormales, c'est-à-dire incohérentes avec le modèle probabiliste proposé.

Résumé

Après avoir montré la pertinence de la décomposition de Karhunen-Loève pour la réduction de dimension et la simulation de processus stochastiques, des méthodes pour estimer des bandes contenant les réalisations d'un processus avec une probabilité fixée ont été comparées.

Des bandes de confiance d'aire minimales ont été obtenues en résolvant un problème d'optimisation sous contraintes probabilistes. Si la résolution de ce problème est en pratique très coûteuse, il s'avère qu'une approximation basée sur l'utilisation d'une mesure empirique dans les contraintes fournit de bons résultats et possède des garanties théoriques.

Ce rapport explore la notion de bandes de profondeur et de régions centrales pour les données fonctionnelles. Quelques résultats autour de ces notions sont obtenus.



Bande de confiance d'aire minimale contenant 80% des trajectoires d'un pont brownien © Clément Hardy, 2019.

Confidence bands for functional data

Functional data • Principal Components •
Simultaneous confidence bands • Karhunen-Loève • Band-depth

Context

In numerical simulations, many calculation methods deal with stochastic processes: temperature processes, stress scenarios, etc.

Whether obtained from computational methods or from experimental protocols, the number of process trajectories is often small (expensive computational methods or expensive experimental protocols).

Missions and goals

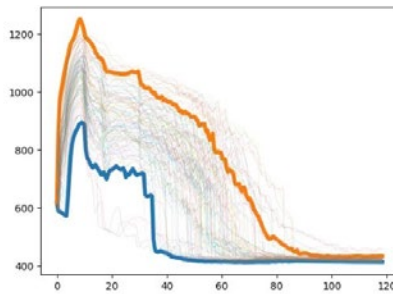
Estimating a probabilistic model from these outputs must allow to determine trust regions. However, the definition of a trust region is not unique and not obvious when it comes to a process. It can be, for example, a region of a functional space containing 95% of the process trajectories. These regions allow for example outlier detection.

Abstract

The aim of this work was to build confidence bands for stochastic processes from a sample of trajectories. Several methods were considered. After showing the relevance of the Karhunen-Loève decomposition for dimension reduction and stochastic process simulation, methods to

estimate bands containing the entire trajectories with a given probability were compared. In order to obtain trust regions of minimal area, we proposed to solve a problem of area minimization with chance constraints. If its resolution was intractable in practice, it turned out that a sample average approximation provided good results and had theoretical guarantees.

My final year project also explored the notion of band-depth and central regions for functional data. It provides a theoretical result that makes some of these concepts unsuitable for the study of some stochastic processes (the Brownian motion for instance).



Bande de confiance d'aire minimale contenant 80% des trajectoires d'un processus © Clément Hardy, 2019.

Éléments de bibliographie

AHMED, Shabbir et SHAPIRO, Alexander, 2008. Solving Chance-Constrained Stochastic Programs via Sampling and Integer Programming. In : *State-of-the-Art Decision-Making Tools in the Information-Intensive Age* [en ligne]. INFORMS, pp. 261-269. INFORMS TutORials in Operations Research. Disponible sur : <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/educ.1080.0048> [consulté le 2 avril 2020].

KENDALL, W. S., MARIN, Jean-Michel et ROBERT, C. P., 2007. Brownian Confidence Bands on Monte Carlo Output. *Statistics and Computing* [en ligne], 2007, vol. 17, n° 1, pp. 1-10. Disponible à l'adresse : <https://hal.inria.fr/inria-00070571> [consulté le 2 avril 2020].

LÓPEZ-PINTADO, Sara et ROMO, Juan, 2009. On the Concept of Depth for Functional Data. *Journal of the American Statistical Association* [en ligne], 2009, vol. 104, n° 486, pp. 718-734. DOI 10.1198/jasa.2009.0108. [Consulté le 2 avril 2020].

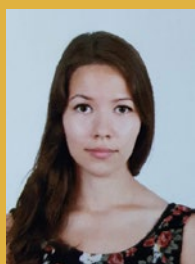
Apprentissage
statistique
Machine learning

Modélisation
numérique et
simulation
Numerical modelling
and simulation

Optimisation
et recherche
opérationnelle
Optimization and
operations research

Processus
stochastiques
et finances
quantitatives
Stochastic processes
and mathematical
finance

Vision numérique
Computer vision



Victoriya KASHTANOVA

Élève ingénieure double diplôme
Université d'État de Novossibirsk, Russie

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
GE HealthCare

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Zhijin LI, Senior Data Scientist, Women's Health Applied Research (WHARz), GE
Healthcare

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pascal MONASSE, chercheur, LIGM, équipe IMAGINE, École des Ponts ParisTech



Changement d'apparence d'images par *deep learning*

Deep Learning • Génération d'images • CycleGAN • ResNet • U-Net

Contexte

J'ai effectué mon projet de fin d'études à GE HealthCare France, dans l'équipe de recherche appliquée à la santé de la femme (WHARe). Cette équipe est principalement dédiée au développement de solutions avancées et basées sur les technologies qui permettent d'accomplir le dépistage et le diagnostic du cancer du sein avec les meilleures performances.

Missions et objectifs

1. Analyser l'état de l'art des modèles de réseaux de neurones, en particulier les modèles génératifs ;
2. proposer, implémenter et améliorer une architecture de réseaux de neurones en utilisant différentes bases de données existantes ;
3. évaluer les performances du réseau proposé de manière quantitative.

Résumé

La mammographie 2D numérique est la modalité de référence pour le dépistage organisé du cancer du sein. Les images acquises par une machine de mammographie sont traitées par des algorithmes de post-traitement avant d'être affichées sur un écran de revue. Le post-traitement a pour objectif d'améliorer la qualité des images, afin que les radiologues puissent mieux détecter des signes suspects pouvant traduire la présence de lésions malignes. Les algorithmes de post-traitement dépendent des caractéristiques du système de mammographie et des choix du constructeur en matière de rendu des images. Ainsi ils sont différents d'un système à l'autre. Un(e) radio-

logue habitué(e) à un certain système de mammographie rencontrera parfois des difficultés à s'adapter à des images présentant des caractéristiques différentes lors d'un changement de système.

Ce projet de fin d'études consiste à développer, à l'aide d'une approche *deep learning*, un post-traitement qui génère des images avec le même rendu que celles issues d'un système de mammographie A, à partir d'images acquises sur un système de mammographie B, sans dégrader la qualité ou le contenu des images initiales afin de réduire le temps d'adaptation des radiologues à l'apparence des images quand ils changent d'appareil.



Appareil de mammographie © AlarconAudiovisual 2015, CC0 (source : Pixabay), disponible sur : <https://pixabay.com/fr/photos/la-mammographie-à-tes-souhaits-2416942/>

Deep Learning approach to changing the image appearance

Deep Learning • Image generation • CycleGAN • ResNet • U-Net

Context

This final year project took place at the GE Health-Care, France, in the Women's Health Applied Research (WHARe) team. This team is mainly dedicated to developing advanced solutions based on cutting-edge technologies which enable breast cancer screening and diagnosis with the best performance.

Missions and goals

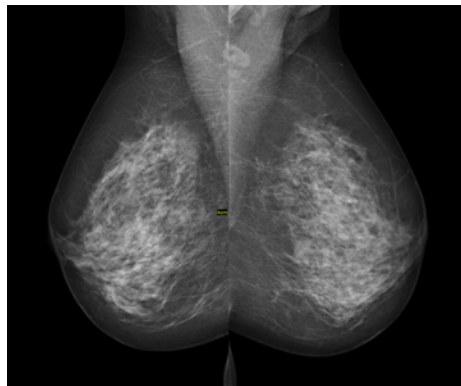
1. Review of the state of the art neural network models, in particular generative models;
2. proposal, implementation and improvement of a network architecture of neurons using existing databases;
3. quantitative evaluation of the performance of the proposed network.

Abstract

Digital 2D mammography is the gold standard for organized breast cancer screening. Images acquired by a mammography machine are processed by post-treatment algorithms before being displayed on a review screen. The objective of post-treatment is to improve image quality so that radiologists can better detect suspicious signs that may indicate the presence of malignant lesions. Post-treatment algorithms depend on the characteristics of the mammography system and the manufacturer's choice of image rendering. So

they are different from one system to another. A radiologist accustomed to a certain mammography system will sometimes encounter difficulties in adapting to images with different characteristics when changing the system.

The objective of my final year project is to develop, using a Deep Learning approach, a post-treatment that generates images with the same image appearance as those from mammography system A, from images acquired on mammography system B without degrading the quality or content of the initial images to reduce the adaptation time of radiologists to the appearance of the images when they change their equipment.



Mammography image example © Nevit Dilmen 2012, CC-BY-SA 3.0 (source : Wikimedia Commons).

Apprentissage statistique
Machine learning

Modélisation numérique et simulation
Numerical modelling and simulation

Optimisation et recherche opérationnelle
Optimization and operations research

Processus stochastiques et finances quantitatives
Stochastic processes and mathematical finance

Vision numérique
Computer vision

Éléments de bibliographie

YI, Xin, WALIA, Ekta et BABYN, Paul, 2019. Generative adversarial network in medical imaging: A review. *Medical Image Analysis* [en ligne], 2019, vol. 58, article 101552. DOI 10.1016/j.media.2019.101552 [consulté le 7 avril 2020].

MACKENZIE, Alistair, DANCE, David R., *et al.*, 2012. Conversion of mammographic images to appear with the noise and sharpness characteristics of a different detector and x-ray system. *Medical Physics* [en ligne], 2012, vol. 39, n° 5, pp. 2721-2734. DOI 10.1118/1.4704525 [consulté le 7 avril 2020].

ISOLA, Phillip, ZHU, Jun-Yan, ZHOU, Tinghui et EFROS, Alexei A., 2017. Image-To-Image Translation With Conditional Adversarial Networks. In : *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* [en ligne], 2017, p. 1125-1134. Disponible à l'adresse : http://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2017/html/isola_Image-To-Image_Translation_With_CVPR_2017_paper.html [consulté le 7 avril 2020].



Emma LEINER

Élève ingénieure concours commun
Master of Engineering, Industrial Engineering and Operations Research,
UC Berkeley, Californie, États-Unis

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Owkin

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Pierre COURTIOL, Data scientist

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pascal MONASSE, chercheur, équipe IMAGINE, LIGM, École des Ponts ParisTech



Apport de l'intelligence artificielle aux pronostics médicaux en histologie

Médecine • Computer vision • Pronostic • Réseau de neurones

Contexte

Owkin est une entreprise dont la mission est de faire avancer la recherche en médecine grâce à l'utilisation de modèles de *machine learning*. Les données médicales de différents types sont utilisées afin de construire des outils pouvant aider les médecins dans l'établissement de pronostics et la compréhension de certaines maladies encore méconnues ou rares. Les types de données, de maladies et de contextes traités par OWKIN sont extrêmement variés et nécessitent un travail ciblé et sur mesure, de manière à bénéficier au mieux à la recherche médicale.

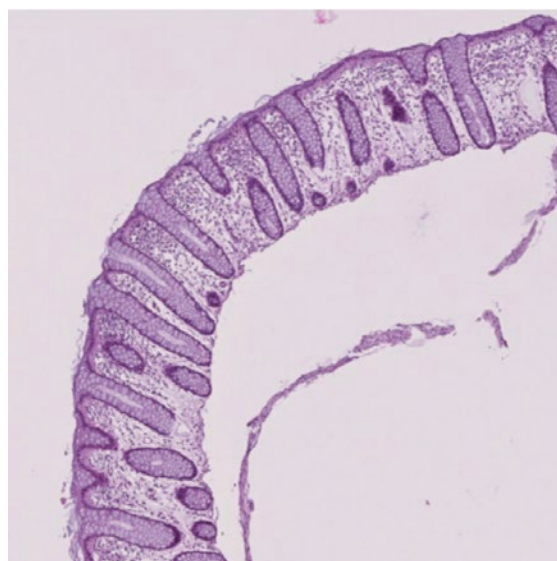
Missions et objectifs

La mission de mon projet de fin d'études chez Owkin était d'implémenter des solutions et architectures de *deep learning* basées sur des images histologiques afin de créer des modèles permettant d'émettre des pronostics médicaux et de mieux comprendre certaines maladies.

Résumé

Nous démontrons dans ce projet les apports de l'intelligence artificielle aux pronostics médicaux via deux applications spécifiques, à l'aide d'images de lames de tissus biologiques. Nous utilisons la vision artificielle comme moyen d'interpréter des données biomédicales à plusieurs niveaux, de la cellule à l'architecture des tissus. Les données utilisées en médecine sont une denrée rare, hautement confidentielle et complexe à manipuler. Un des objectifs majeurs dans ce projet de fin d'études est d'apprendre à utiliser ces données avec intelligence et de créer des modèles capables d'exploiter ces ressources riches.

Nous proposons aux médecins des outils d'aide à la prédiction de facteurs discriminants pour le soin de leurs patients et contribuons ainsi à faire progresser la recherche médicale de demain.



Tuile issue de lames d'histologie prélevées sur des tissus du colon, définition 4 microns par pixel (mpp) © Assistance Publique - Hôpitaux de Paris, 2019.

The input of AI for medical prognoses in the field of histology

Medicine • Artificial intelligence • Histology • Prognosis

Context

Owkin is a company whose mission is to help medical research thrive thanks to the use of machine learning models. Medical data of many various types are being used in order to build tools that can contribute to helping doctors when establishing medical prognoses for patients, and have a better understanding of some rare or unknown diseases. The different types of data, of diseases and of contexts that OWKIN is exploring are extremely broad and require very specific and tailored work, in order to benefit medical research as much as possible.

Missions and goals

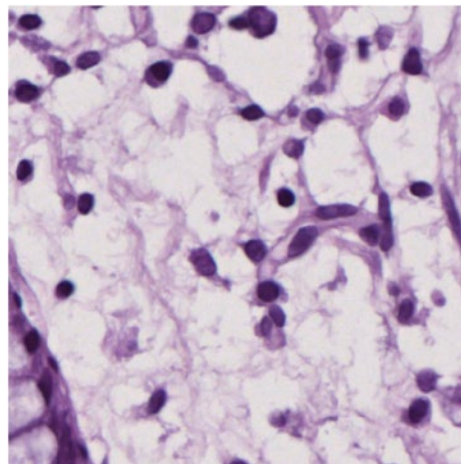
The mission of my final year project at Owkin was to implement deep learning solutions and architectures based on histology images, in order to create models to help doctors make medical prognoses and have a better understanding of certain diseases. My tasks were mainly technical and focused on using the data intelligently to extract meaningful information.

Abstract

In this project, we are demonstrating the inputs of artificial intelligence to medical prognoses thanks to two specific applications, by using scanned images of biological tissue slides. We are using computer vision as a mean to interpret the biological data at various levels, from the cell to the actual architecture of the tissues. Data that is used in medical applications is very scarce, highly

confidential and complex to manipulate. One of the major goals of my final year project was to learn how to have a mindful use of the data, how to handle it intelligently and how to create models that are capable of exploiting those extremely rich resources.

We offer doctors some new tools to help them predict discriminative factors in order to better treat their patients, hence contributing to make tomorrow's medical research thrive and develop.



Tuile issue de lames d'histologie prélevées sur des tissus du colon, définition 0.25 microns par pixel (mpp) © Assistance Publique - Hôpitaux de Paris, 2019.

- Apprentissage statistique
• Machine learning
- Modélisation numérique et simulation
• Numerical modelling and simulation
- Optimisation et recherche opérationnelle
• Optimization and operations research
- Processus stochastiques et finances quantitatives
• Stochastic processes and mathematical finance
- Vision numérique
• Computer vision

Sciences économiques, gestion, finance

Economics, Management, Finance

Le département Sciences économiques, gestion, finance forme des ingénieurs-managers de haut niveau capables de mobiliser leurs compétences en sciences de l'ingénieur, économie et finance au service de la création et de la mise en œuvre de projets complexes dans un contexte international.

Enjeux

Les décisions d'investissement des entreprises se prennent maintenant dans un contexte où la digitalisation de l'économie, l'explosion des données disponibles, l'économie des plateformes et l'intégration croissante des économies dans le monde conduisent à repenser les chaînes de valeur traditionnelles, les relations entre producteurs et consommateurs et les frontières entre industrie et services.

En parallèle de ces transformations, la prise en compte de l'environnement et des contextes sociétaux est plus que jamais centrale dans l'évaluation des coûts et des bénéfices d'un projet, dans leur mise en œuvre et dans l'arbitrage entre court terme et long terme.

À travers l'enseignement de l'économie et de la finance, l'École perpétue une tradition d'excellence qui remonte à l'ouvrage précurseur de Jules Dupuit (1844) sur la mesure de l'utilité et le financement des travaux publics. Cette tradition se prolonge avec Jean Tirole, prix Nobel d'économie en 2014, pour ses travaux en économie industrielle sur le pouvoir de marché et la régulation des monopoles, et pour son analyse des stratégies des industries de réseaux.

L'enseignement du département intègre les développements les plus récents de la recherche académique, fournissant aux élèves une boîte à outils combinant un haut degré de compétences analytiques et quantitatives avec une connaissance ouverte sur les débats contemporains et les mutations industrielles en cours.

Formation

Un tronc commun fédérateur axé autour deux parcours :

- Ingénieur économiste : expertise en calcul économique, économie géographique et des territoires, et économie du développement ;
- Ingénieur financier : expertise en finance d'entreprise, en financement de projets et finance verte.

En dernière année, le département propose un parcours sur la finance verte enseigné en anglais. Il forme des spécialistes de la finance verte au sein des banques, des assurances et des directions stratégiques des grandes entreprises.

Les élèves de dernière année peuvent également suivre des formations d'excellence en partenariats :

- Master in Analysis and Policy in Economics (APE) avec Paris School of Economics (PSE);
- Master of Science Economic Decision & Cost Benefit Analysis avec PSE;
- Master in Public Policy and Development (PPD) avec PSE;
- Infrastructure Project Finance (IPF), en partenariat avec Columbia University ;
- des formations à HEC ou SciencesPo.

D'autres formations à l'étranger peuvent être validées par le département au titre de la 3^e année, notamment dans des universités anglo-saxonnes comme le MSc in Management Science and Engineering de Columbia University, le Master of Financial Engineering de la Haas School de Berkeley, le MSc in Finance de la Sloan School of Business du MIT, ou les MSc in Economics et MSc in Finance de la London School of Economics.

Métiers

Le département forme des ingénieurs aux métiers du financement de projets dans la banque et le conseil, vers les métiers de la gestion des risques dans la banque et l'assurance, mais également vers les métiers d'économiste ou économètre au sein d'institutions publiques nationales et internationales, de centres de recherche et d'instituts d'études statistiques ou encore au sein des directions de la stratégie de grandes entreprises.



À l'occasion des 20 ans d'installation de l'École sur la cité Descartes © Patrick Sagnes (pour l'École des Ponts ParisTech).



Franck Bancel

 Président
 Department Head



Pierre Bertrand

 Responsable
 académique
 Academic Head



Sandrine Calvary

 Inspectrice des études
 Academic Advisor



Josiane Niéto

 Assistante polyvalente
 Department Assistant

The Economics, Management and Finance Department trains high-level graduates who are able to apply their skills and knowledge in economics and finance to complex projects involving multi-cultural and multi-disciplinary teams. At the end of their studies at École des Ponts ParisTech (ENPC), they are capable of analyzing, identifying and implementing investment strategies taking into account technological and financial constraints, the impact of such strategies on the environment – be it direct or indirect – as well as the uncertainty inherent to such complex projects.

Challenges

Corporate investment decisions are now being made in a context where the digitalization of the economy, the explosion of available data, the economics of platforms and the increasing integration of economies through globalization are leading to a rethinking of traditional value chains and value creation, relations between producers and consumers and the boundaries between industry and services.

Along with these transformations, the design and implementation of projects requires cost benefit analyses that take into account the environment and the social context in which the projects evolve and that can help elucidate short term and long term trade-offs.

Through the teaching of economics and finance, the School is continuing a tradition of excellence that dates back to the pioneering work of Jules Dupuit (1844) on measuring the utility and financing of public works. This tradition has continued with Jean Tirole, winner of the 2014 Nobel Prize for Economics for his work in industrial economics on market power and regulation, and for his analysis of the strategies of the network industries.

Based on state of art research tools and academic knowledge, the curriculum provides students with a toolbox that combines high-level analytical and quantitative skills with an acute awareness of current debates and of the industrial transformations taking place.

Curriculum

A solid core curriculum and two options:

- **Economics:** expertise in economic calculus, urban economics and sustainable development, and development economics,
- **Finance:** expertise in corporate finance and project finance.

The department offers during the 3rd year a green finance option to prepare students to become green finance spe-

cialists who can contribute to the development of Green Finance within banks, international institutions and companies.

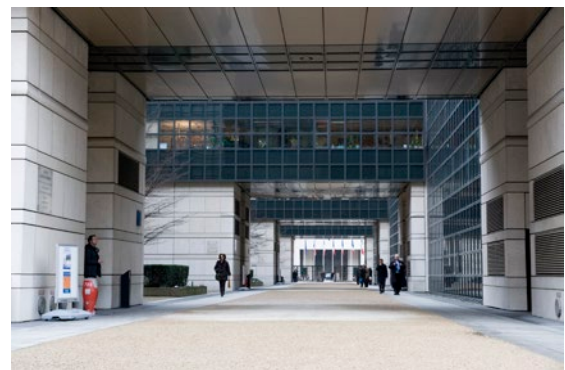
For their final year, students may also join excellence programs in partnership:

- Master in Analysis and Policy in Economics (APE) with Paris School of Economics (PSE),
- Master of Science Economic Decision & Cost Benefit Analysis with PSE,
- Master in Public Policy and Development (PPD) with PSE,
- Double degree with the HEC or SciencesPo,
- Infrastructure Project Finance (IPF), in partnership with Columbia University.

The department may also allow students to pursue degrees in prestigious universities abroad in lieu of their final year at École des Ponts ParisTech. The most popular destinations include Columbia University (MSc in Management Science and Engineering), Berkeley Haas School (Master of Financial Engineering), MIT Sloan School of Business (Masters in Finance), and the London School of Economics (MSc in Economics and MSc in Finance).

Careers

The Department educates engineers for project finance careers either in banking and consultancy, for risk management careers in banking and insurance, but also as economists or econometricians in national and international public institutions, research centers and statistical studies institutes, or in the strategy departments of big companies.



Bâtiment du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie. © Bernard Suard - Terra

Laboratoires partenaires et chaires

Research partnerships and chairs

Laboratoires • Laboratories



CIRED

Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement. Thématiques : économie du développement et de l'environnement, questions énergie / déchets / transports / eau / alimentation, enjeux d'environnement global, principe de précaution, modélisation.

International Environment and Development Research Center. Themes: development and environmental economics, energy/waste/transportation/water/food issues, global environmental challenges, precautionary principle, modeling.



PJSE

Paris-Jourdain Sciences économiques. Thématiques : laboratoire de recherche généraliste en économie, avec couverture large de la discipline. Excellence mondialement reconnue plus spécifiquement en économie théorique, en économie publique et en économie du marché du travail.

Paris-Jourdain Economics Laboratory, Paris School of Economics. Themes: general economics research laboratory, with broad coverage of the discipline. A worldwide reputation for excellence, more specifically in theoretical economics, public economics, and labor market economics.

Chaires • Chairs

Smart cities et création de valeur • *Smart Cities, value chains and value creation - KPMG*

Chaire d'enseignement sur les smart cities et la création de valeur afin de former les élèves de l'École à ses problématiques et à alimenter la réflexion sur ces sujets au travers de projets proposés par KPMG.

Teaching chair on Smart Cities, value chains and value creation to educate students from École des Ponts ParisTech on these problematics and to stimulate reflection on these subjects through projects offered by KPMG.

Développement et financement des projets d'infrastructure durable • *Development and Sustainable Infrastructure Project Finance - Meridiam*

Soutien à la recherche et l'innovation dans le domaine du développement et du financement de grandes infrastructures et la formation de cadres à haut potentiel du secteur public et du secteur privé.

Research and innovation support in the field of development and large-scale infrastructure project finance and education of high potential executives from the state and the private sector.

Les projets de fin d'études

Final Year Projects

Analyse et calcul économique •

Economic Calculus and Analysis

GOURSAT LAURE | Valeur de l'information et rationalité limitée sur les marchés d'appariement
Information design and bounded rationality on matching markets

LE DU PIERRE | Calibration d'une *Vega*fee sur les produits à barrière
Vegafee calibration on autocallable products

Conseil et Expertise •

Consulting & Auditing

AMIOT CASIMIR | Définition de la stratégie e-retail d'un acteur du marché des vins et spiritueux
Definition of an e-retail strategy of a wine and spirits producer

AZZAZ RYAN | La digitalisation et l'analyse de données massives comme outil de création de valeur ?
Digitalization and data analysis as a value creation tool?

BASTARD PIERRE | Stratégie Smart Gas Grid
Strategy Smart Gas Grid

TILLET ROBINSON | Impact des bonnes pratiques sur la productivité des start-up de livraison à domicile
Impact of good practices on the productivity of food delivery start-ups

Data Science

LEULIET THÉO | Recherche en reconstruction d'images médicales SPECT à l'aide de méthodes d'apprentissage
Image reconstruction in SPECT imaging with deep learning methods

MARTIN FRÉDÉRIC | Étude des entreprises coloniales françaises cotées à la Bourse de Paris
French colonial companies listed on the Paris stockmarket

ROUBAUD FÉLIX | L'analyse de données peut-elle encore améliorer le *marketing automation* ?
Can data analysis still improve marketing automation?

VADILLO FERNANDEZ NEREA | Les défis techniques de l'assurance indicielle
Technical challenges of index-based insurance

Financement d'entreprises •

Corporate Finance

CHÉRUBIN MARION | Une dépréciation de *goodwill*, quels impacts pour les entreprises ?
Goodwill impairment's impacts on listed companies

SHI AURÉLIE | Étude des écarts de prix entre transactions stratégiques et transactions financières
Analysis of differences between prices paid by strategic acquirers and financial acquirers

Financement de projets • *Project Finance*

SANCHIZ RODRIGUEZ-BOBADA JAVIER | Le refinancement en *project finance* suite à la crise financière
Refinancing in project finance following the financial crisis

Politiques publiques • *Public Policy*

GIRSCHIG CÔME | Conception et développement du calculateur énergie-carbone *GES*time
*Design and development of the GES*time energy-carbon calculator

MAGRÉ JEAN-GUILLAUME | Comment la BCE peut-elle utiliser les produits dérivés dans sa politique monétaire ?
How can the ECB use derivative contracts to conduct its monetary policy?



Laure GOURSAT

Élève ingénieure HEC
Master Analyse et politique économique (APE),
École d'économie de Paris (PSE)

Promotion 2019

Début de doctorat réalisé à
Paris Jourdan Sciences économiques (PjSE)

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Francis BLOCH, enseignant-chercheur à PSE et Paris 1

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Philippe JEHIEL, enseignant-chercheur à PSE et UCL,
ingénieur des ponts, des eaux et des forêts (IPEF)



École des Ponts
ParisTech



Valeur de l'information et rationalité limitée sur les marchés d'appariement

Marchés d'appariement • Valeur de l'information • Rationalité limitée

Contexte

Les exemples de marchés d'appariement comprennent l'emploi, le mariage et, à un niveau national et centralisé, le don d'organes, l'allocation des étudiants aux universités, des enseignants aux écoles, etc. Selon le prix Nobel Alvin Roth, sur ces marchés, « les prix ne font pas tout le travail » de simplification qu'ils réalisent sur les marchés classiques, ils n'agrègent pas les paramètres d'offre et de demande dans un seul indicateur pertinent pour les décisions individuelles. En conséquence, les marchés d'appariements se caractérisent par une complexité multidimensionnelle, un défi à la fois pour les concepteurs du marché et les agents sur ce marché.

Missions et objectifs

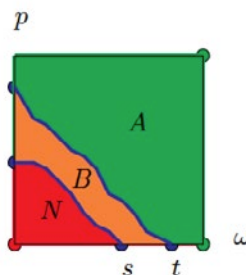
L'ambition de mon début de doctorat est de surmonter cette complexité en proposant une structure d'information flexible et en modélisant des agents à rationalité limitée. D'où une question de recherche en 2 parties. Sur un marché d'appariement :

- [ID] Quels sont les comportements et l'efficacité à l'équilibre en fonction de la structure d'information et donc quelle est la structure d'information optimale ?
- [BR] De quelle manière les agents sont-ils imparfaitement rationnels ? Comment cela modifie-t-il l'allocation finale ?

Résumé

Je motive ma question de recherche en citant des études empiriques cohérentes et en montrant que la littérature théorique est manquante ou défectueuse. J'expose également 3 des 5 projets de recherche qui m'occupent. Le 1^{er} projet (ID-1) étudie un marché similaire à l'allocation des

logements sociaux à Paris ou aux mutations intra-académiques des enseignants en France où les préférences et priorités sont cardinales assortatives et le nombre de candidatures borné. Le résultat principal est que les agents à faible score préfèrent une information limitée (privée) à une information parfaite (publique). Cela suggère que la conception des scores de priorité et de l'information disponible doit se faire de façon jointe. Un 2^e projet (BR-1) s'appuie sur un article récent par Antler et Bachi (2020) qui explique le taux étonnamment bas d'appariement sur des marchés dynamiques avec peu de frictions (comme les sites de rencontres ou de recherche d'emploi). Pour cela, les auteurs appliquent la notion d'équilibre d'analogie de Jehiel (2005). Je varie et étends ce modèle, y compris en introduisant des asymétries de rationalité entre joueurs, afin de tester la robustesse des résultats ; l'objectif est aussi de calculer le bien-être agrégé, pour formuler une recommandation politique. Le 3^e projet (BR-Exp) propose un protocole de laboratoire d'économie expérimentale pour tester l'inférence que les agents font sur un marché d'appariement où les utilités sont inconnues.



Jeu de candidature à 2 objets (A, B) avec possibilité de ne pas candidater (N), et à score de priorité cardinal (ω) - équilibre de Nash symétrique en stratégie mixte © Laure Goursat, 2020.

Analyse et calcul économique
Economic Calculus and Analysis

Conseil et Expertise
Consulting & Auditing

Data Science

Financement d'entreprises
Corporate Finance

Financement de projets
Project Finance

Machine Learning

Politiques publiques
Public Policy

Information design and bounded rationality on matching markets

Matching markets • Information Design • Bounded Rationality

Context

Matching market examples include the job market or marriage, plus many public centralised allocation schemes such as organ donation, matching of students to universities, of teachers to schools. According to the Nobel Prize Alvin Roth, on those markets "prices do not do all the work", they usually perform on classical markets, they do not aggregate supply and demand parameters into one single indicator relevant for decision-making. This causes multi-dimensional complexity on the market, a challenge for both market designers and market participants.

Missions and goals

The ambition is to overcome the multi-dimensional complexity by proposing a flexible information structure and by modelling boundedly rational agents. Hence the two-fold research question - on a matching market:

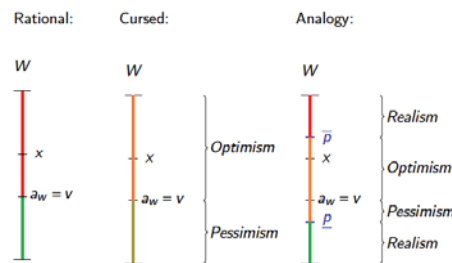
- [ID] what are the equilibrium behaviors and efficiencies as a function of the information structure and consequently what is the optimal structure of information?
- [BR] what is the nature of bounded rationality? Does it disturb the final allocation and if yes, in what direction?

Abstract

I extensively motivate the research question by quoting supporting empirical findings, and showing the related theoretical literature is lacking or flawed.

I also exemplify modelling challenges and preliminary results by describing 3 out of 5 on-going research projects. One project (ID-1) locates on a market with cardinal assortative preferences and

priorities and bounded applications, which describes well social housing in Paris or intra-academy teacher mobility in France. The main result is that agents with low priority scores are better off with less (private) information than with full (public) information. Said differently, private information favors low priority agents and distort the priority system. The subsequent policy recommendation is a call for joint design of the priority score computation method and the information structure. A second project (BR-1) builds on a recent article by Antler and Bachi (2020) who account for the surprisingly low number of successful matches in real low-friction search markets (e.g.: dating or job search websites). They do so by adapting the analogy-based expectation equilibrium by Jehiel (2005) to their setting. I aim at varying the behavioral model including with asymmetries to test robustness of the result, and to perform welfare analysis so as to formulate policy recommendations. The third project (BR-Exp) provides an experimental design aimed at testing in an Experimental Economics laboratory the inference made by matching market participants when match utilities are unknown.



Jeu de recherche dynamique symétrique avec frictions à la Antler et Bachi (2020) - équilibre de Nash avec des agents imparfaitement rationnels : sur-optimisme et sur-sélectivité © Laure Goursat, 2020.

Éléments de bibliographie

JEHIEL, Philippe, 2005. Analogy-based expectation equilibrium. *Journal of Economic Theory* (en ligne), 2005, vol. 123, n° 2, pp. 81-104. DOI 10.1016/j.jet.2003.12.003 [consulté le 27 avril 2020].

ROTH, Al, 2017. *Al Roth on Matching Markets* (en ligne). Social Science Bites. Podcast disponible sur : <https://www.socialsciencespace.com/2017/08/al-roth-matching-markets/> [consulté le 27 avril 2020].

ANTLER, Yair, and BACHI, Benjamin, 2020. *Searching Forever After*. Working Paper. https://5018ee9c-1913-4ae8-95a9-1de9d52b4c1f.filesusr.com/ugd/60b4e9_of0d6e6ebf2c4667a9fc08f1982ea186.pdf [consulté le 27 avril 2020]



Pierre LE DU

Élève ingénieur concours commun
Master of Finance, Massachusetts Institute of Technology,
Cambridge, États-Unis

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à :
Société générale

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Hugo KERGALL, trader

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Abdelkader SLIFI, enseignant, université Paris Dauphine



Calibration d'une *Vegafee* sur les produits à barrière

Autocalls • Vega • Calibration

Contexte

Après une année de césure à Paris puis à Hong Kong à la Société générale, j'ai effectué mon projet de fin d'études sur le *desk* de produits structurés dérivés actions US dans cette même banque. Ce projet de fin d'études revêtait une partie de production quotidienne ainsi qu'une partie de recherche et de projets.

Missions et objectifs

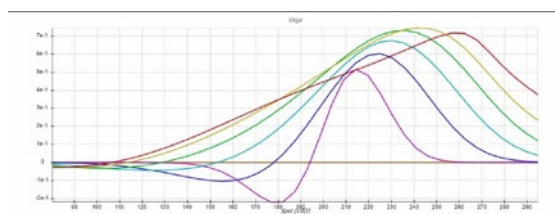
Les missions quotidiennes du projet de fin d'études étaient d'assister les traders dans leur quotidien en prenant part à un certain nombre de processus. La composante recherche et projet avait également pour objectif de produire des outils utilisables par les traders.

Résumé

Ce projet de fin d'études détaille une méthode de résolution d'un problème concret que l'on peut rencontrer sur un *desk* de *trading*. Il propose tout d'abord une vue de la structure organisationnelle de l'équipe en présentant les différents métiers et la cohérence du positionnement de chacun. Puis il présente les produits traités par les traders de façon à introduire brièvement le problème en question. Pour ce faire, ce projet de fin d'études prend le parti de ne mettre l'accent que sur les principaux produits traités. En effet, de par leurs caractéristiques atypiques, ces produits présentent des risques parfois inattendus et dont les

modèles actuels ne tiennent pas toujours compte. Cette problématique est ici formulée et traitée dans le but de fournir une méthode de calcul et d'estimation du coût supplémentaire de ce risque.

Le but est ensuite de présenter le raisonnement qui a été effectué pour adresser ce problème, et les outils qui ont été utilisés. Ainsi, les premiers résultats avec interprétation sont proposés, tout comme la réflexion sur la nécessité d'affiner le modèle et les développements qui s'en suivent. Aucun prérequis de mathématiques financières n'est strictement nécessaire pour comprendre les produits traités et l'apparition du problème, bien que cela permette à coup sûr d'en saisir plus rapidement les enjeux. Le code Python utilisé pour mener à bien les analyses est également mis à disposition du lecteur.



Vega d'un PDI © Pierre Le Du, 2019.

Vegafee calibration on autocallable products

Autocalls • Vega • Calibration

Context

After a gap year in Paris and Hong Kong at Societe Generale, I completed my final year project in this same bank. I was on the US exotic equity derivatives products desk. This project had two major components: daily tasks to help traders, as well as some research and projects.

Missions and goals

The daily missions were to help traders in their tasks, taking part in various processes. The research part of this final year project was meant to emphasize a problem traders know is occurring regularly and to produce tools traders would be able to use on a daily basis to better hedge the books.

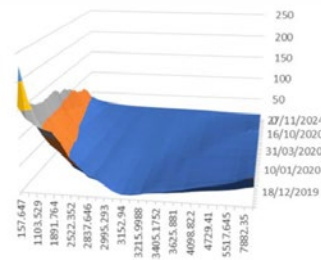
Abstract

This final year project details a resolution method to address a problem which can be encountered on a trading desk. It first of all introduces the structure of the team, emphasizing the role of each one and showing why this particular structure makes a lot of sense. Then, it introduces several traded products in a way which is not exhaustive but which is supposed to make the problem obvious.

To do that, only the main traded products are introduced. These are mainly autocallable products, with no fixed maturity.

The goal of the report is then to go through the process which was designed to address the problem and to detail the tools used for that. As a result, an interpretation of the first outputs is given, as well as the development which followed them in order to refine the model.

No financial mathematics prerequisite is strictly necessary to understand the products being processed and the emergence of the problem, although it would be helpful to have some. The Python code used to solve the issue and calibrate the model is given at the very end of the report.



Surface de volatilité © Pierre Le Du, 2019.

Analyse et calcul
économique
Economic Calculus
and Analysis

Conseil et Expertise
Consulting & Auditing

Data Science

Financement
d'entreprises
Corporate Finance

Financement de
projets
Project Finance

Machine Learning

Politiques
publiques
Public Policy

Éléments de bibliographie

HULL, John C, ROGER, Patrick (dir.), HÉNOT, Christophe (trad.) et DEVILLE, Laurent, 2017. *Options, futures et autres actifs dérivés*. Montreuil : Pearson, 906 pages.

BOUZOUBAA, Mohamed et OSSEIRAN, Adel, 2010. *Exotic options and hybrids: a guide to structuring, pricing and trading*. Chichester ; Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 372 pages.



Casimir AMIOT

Élève ingénieur concours commun

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Digital Value

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Romain BURY, directeur associé

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Franck BANCEL, président du département Sciences économiques,
gestion, finance, École des Ponts ParisTech



Définition de la stratégie *e-retail* d'un acteur du marché des vins et spiritueux

Conseil en stratégie • E-retailer • Marketplace • E-boutique • Distribution en ligne

Contexte

J'ai réalisé mon projet de fin d'études au sein du cabinet de conseil en stratégie Digital Value, spécialisé dans l'e-commerce et l'analyse de données. Le choix d'une stratégie de vente en ligne devient en effet clé pour un certain nombre d'acteurs. Mon projet de fin d'études a porté sur une mission de conseil pour un producteur de vins et spiritueux.

Missions et objectifs

Les objectifs de cette mission étaient de :

- quantifier le marché de la distribution en ligne des vins et spiritueux ;
- identifier les meilleures pratiques utilisées par les acteurs du secteur des vins et spiritueux et de deux autres secteurs comparables ;
- fournir des recommandations stratégiques au client.

Résumé

Comme la plupart des secteurs, le secteur des vins et spiritueux a commencé à s'ouvrir à la vente en ligne au début des années 2000. Le marché de la vente en ligne de vins et spiritueux s'est depuis fortement développé : il générerait un chiffre d'affaires de 8 milliards de dollars en 2018. La pénétration du e-commerce dans le marché des boissons alcoolisées a crû de manière significative entre 2013 et 2018 : +21% en Chine et +12% aux États-Unis. Les grandes marques d'alcool doivent donc s'adapter à cette situation pour tirer profit de ces nouvelles évolutions technologiques.

Pour distribuer leurs produits en ligne, les producteurs de vins et spiritueux sont amenés à travailler avec de nou-

veaux types d'intermédiaires de distribution. Ils s'associent en particulier avec des *marketplaces* et des *e-retailers* pour commercialiser leurs produits. Nouer ces partenariats est bien souvent inévitable puisqu'ils n'arrivent généralement pas à générer une audience suffisante dans leurs e-boutiques. La majeure partie des ventes en ligne de boissons alcoolisées est en fait réalisée sur les sites des distributeurs.

La définition d'une stratégie de distribution en ligne s'organise sur quatre niveaux. Les producteurs doivent tout d'abord décider avec quels distributeurs s'associer. Il convient ensuite de choisir les produits qu'ils veulent proposer en ligne. Des prix de vente de ces produits doivent par la suite être fixés. Enfin, il est nécessaire de définir quelles actions promotionnelles sont à entreprendre pour vendre ces produits.



Achats e-commerce © Tumisu (source : Pixabay), disponible sur : <https://pixabay.com/fr/photos/en-ligne-shopping-ecommerce-4275963/>

Definition of an e-retail strategy of a wine and spirits producer

Strategy consulting • E-retailer • Marketplace • E-shop • Online retail

Context

I carried out my final year project within the strategy consulting firm Digital Value, specialized in e-commerce and data analysis. The choice of an online distribution strategy is indeed becoming key for a certain number of players. My final year project concerned a consulting mission for a wine and spirits producer.

Missions and goals

The objectives of the mission were:

- to size the wine and spirits e-retail market ;
- to identify the best practices used by players in the wine and spirits sector and in two other comparable sectors ;
- to provide strategic recommendations to the client.

Abstract

Like most sectors, the wine and spirits sector began to go online in the early 2000's. The wine and spirits e-commerce market has since grown significantly, generating \$8 billion in sales in 2018. The penetration rate of e-commerce in the alcoholic beverages market grew significantly between 2013 and 2018: +21% in China and +12% in the United States. The major alcohol brands have now to adapt to this situation in order to take advantage of these new technological developments.

To distribute their products online, wine and spirits producers have to work with new types of retailers. They are especially partnering with marketplaces and e-retailers to market their products. These partnerships are often necessary since producers do not manage to generate a sufficient audience in their e-shops. Most of the online sales of alcoholic beverages are in fact made on retailers' web-sites.

The definition of an e-retail strategy is organized on four levels. Firstly, producers have to decide the retailers they want to work with. Secondly, they have to determine which products they want to commercialize online. Then, prices have to be fixed for each product. Finally, it is necessary to define which promotional actions are to be undertaken to sell these products.



E-commerce © Negative Space 2015 (source : Pexels),
disponible sur : <https://www.pexels.com/fr-fr/photo/acheter-carte-de-credit-clavier-client-34577/>.

Analyse et calcul
économique
Economic Calculus
and Analysis

Conseil et Expertise
Consulting & Auditing

Data Science

Financement
d'entreprises
Corporate Finance

Financement de
projets
Project Finance

Machine Learning

Politiques
publiques
Public Policy

Éléments de bibliographie

IWSR, 2019, A Blueprint for Success in the E-commerce Space for Alcoholic Beverages.



Ryan AZZAZ

Élève ingénieur concours commun
Polytechnique Montréal, Canada

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Arcane

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Hubert DORANGEON, Head of SEA

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Franck BANCEL, président du département Sciences économiques,
gestion, finance, École des Ponts ParisTech



La digitalisation et l'analyse de données massives comme outil de création de valeur ?

Analyse de données • Marketing digital • Data visualization •
Consulting • Marketing Automation

Contexte

Secteur en plein essor profitant de la forte croissance des grands acteurs d'internet, le marketing digital consiste pour des entreprises (annonceurs) à promouvoir leurs produits sur des moteurs de recherche, des réseaux sociaux ou des sites internet. Ces entreprises peuvent diffuser leurs publicités soit elles-mêmes, soit par l'intermédiaire d'agences. C'est le rôle d'Arcane, agence marketing technologique fondée en 2016.

Missions et objectifs

Durant mes six mois de stage chez Arcane, j'ai eu l'occasion d'évoluer en tant que consultant *data analyst*. Mes missions tournaient ainsi principalement autour de l'automatisation de tâches liées à la gestion des annonces publicitaires, de la création de *dashboards* sur-mesure pour des *retailers* français ou de la production d'analyses de données avancées dans le but de produire des stratégies marketing complexes et innovantes.

Résumé

Dans ce rapport, j'évoque différentes missions que j'ai pu effectuer au sein d'Arcane, et comment elles illustrent selon moi des tendances plus globales concernant l'évolution du secteur du marketing actuellement. Le traitement de la donnée a été et reste au cœur de mon activité chez Arcane, et ce sous plusieurs formes. L'analyse de données brutes permet de donner du sens et de dégager des tendances afin de conseiller au client la stratégie marketing la plus adaptée, dans une optique de rentabilité. Chaque euro investi en dépenses publicitaires doit générer le maximum de valeur pour l'annonceur. La deuxième forme de traitement de données concerne la mesure de la performance. Il s'agit alors de créer des outils de visualisation des données adaptés au besoin du client, afin de permettre une lecture simple de la performance dans le secteur du marketing digital, ainsi que le poids des revenus générés par ce secteur dans le chiffre d'affaires global de l'entreprise. Tout l'enjeu de la chaîne de valeur est donc de pousser le bon contenu (produit ou service), au bon client potentiel (audience), au bon moment de son parcours d'achat (intention). C'est dans ce processus que l'ère du *big data* a permis une explosion de la performance et de la rentabilité des annonceurs du secteur de la publicité.

Digitalization and data analysis as a value creation tool?

Data analysis • Digital marketing • Data visualization •
Consulting • Marketing automation

Context

Digital marketing is a fast-growing sector evolving as fast as the internet giants. The way it works is pretty simple: companies (advertisers) are paying to advertise their products on search engines, social networks or regular websites. Those companies can advertise on their own, or through marketing agencies. This is Arcane's role, a technologic marketing agency founded in 2016 by two former Google employees.

Missions and goals

During these six months at Arcane, I worked as a data analyst consultant. My assignments mainly revolved around the automation of tasks related to ad management, the creation of custom dashboards for French retailers or the production of advanced data analysis in order to produce complex and innovative marketing strategies.

Abstract

In this report, I talk about different missions I have been able to carry out within Arcane, and how I think they illustrate more global trends in the evolution of the marketing sector today. Data processing has been and continues to be at the heart of my work at Arcane, in many forms. The analysis of raw data allows me to make sense of and identify trends in order to advise the client on the most appropriate marketing strategy, with a view to profitability. Each euro invested in advertising expenditure must generate maximum value for the advertiser. The second form of data treatment is the data visualization. Defining the best tools to read the performance is a key issue to analyze the influence of marketing investments on the global business of the client. An example of customized dashboard is shared in this report. The final goal of marketing to keep in mind is to show the relevant content (product or service) to the relevant potential customer (audience) at the right time of their customer lifetime (intention). It is at every step of this process that the big data era has helped improve the profitability for advertisers in the marketing sector.

Analyse et calcul
économique
Economic Calculus
and Analysis

Conseil et Expertise
Consulting & Auditing

Data Science

Financement
d'entreprises
Corporate Finance

Financement de
projets
Project Finance

Machine Learning

Politiques
publiques
Public Policy



Pierre BASTARD

Élève ingénieur concours commun
Ingénieur des ponts, des eaux et des forêts (2019)
Collège des Ingénieurs
Engineering and Policy Analysis, université de technologie de Delft, Pays-Bas
Promotion 2018



Mission en entreprise réalisée à
Gaz Réseau Distribution France (GRDF)

Tutrice professionnelle · *Organization Tutor* :
Julie PINEL, chef du pôle Smart Gas Grid, Délégation de la stratégie

Tutrice académique · *Academic Tutor* :
Hélène FEAU, chargée de mission
Collège des ingénieurs

Stratégie Smart Gas Grid

Transition énergétique · Biométhane · Hydrogène

Contexte

GRDF souhaite développer une filière française de production de gaz verts. Le projet de fin d'études porte sur deux points spécifiques liés à cette ambition : dresser un panorama du développement de démonstrateurs de gaz vert de deuxième et troisième génération et analyser la fiscalité et du cadre réglementaire entourant les gaz verts afin de déterminer les actions à mener pour favoriser leur développement.

Missions et objectifs

Afin d'accompagner le développement des filières pyrogazéification et *power-to-gas*, ma première mission consistait à structurer un suivi de la maturité technique de leurs briques technologiques. Ce travail préliminaire devait ensuite être valorisé en interne comme en externe pour permettre l'émergence de projets innovants et économiquement viables. Dans ce cadre, une analyse des cadres réglementaire et fiscal était à prévoir.

Résumé

La constitution d'un panorama technique des filières pyrogazéification et *power-to-gas* m'a conduit dans un premier temps à dresser un panorama de la littérature scientifique disponible pour ces technologies. J'ai en parallèle réalisé une cartographie des projets de démonstration passés et actuels en France et en Europe afin d'avoir à disposition un *benchmark* des projets et pouvoir apprécier l'intérêt pour l'entreprise de développer un site industriel en propre. J'ai aussi été amené à valoriser l'ensemble des connaissances de l'entreprise de ces filières dans une logique de management des savoirs. Ce travail m'a conduit à entrer en contact avec des porteurs de projet et le réseau décentralisé de GRDF. J'ai pu à cette occasion

visiter des centres de recherche portés par des PME du secteur. Enfin, mon étude a été intégrée à un groupe de travail visant à définir la doctrine de l'entreprise pour investir dans des projets d'innovation. Mon travail sur la fiscalité m'a conduit à dresser un panorama exhaustif des mécanismes fiscaux impactant la compétitivité des gaz verts sur l'ensemble de la chaîne de valeur. Une analyse comparative des autres filières a été réalisée avec un zoom sur l'usage de la chaleur. Une réflexion sur les opportunités de développement de la consommation du gaz par filière a ensuite été engagée. Par ailleurs, sur la base de cette analyse, j'ai rédigé des éléments de réflexion à destination directe de la direction générale à propos des évolutions souhaitables du secteur énergétique français dans le cadre de la réflexion sur la programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023.



Unité de pyrogazéification © Pierre Bastard, 2019.

Strategy Smart Gas Grid

Energy transition • Biomethane • Hydrogene

Context

GRDF aims to develop a French green gas production sector. The final year project focuses on two specific points related to this ambition: the development of second and third generation green gas demonstrators and the study of the taxation and the regulatory framework surrounding green gas to determine the actions to be taken to promote their development.

Missions and goals

In order to support the development of the gasification and power to gas sectors, my first mission was to structure a follow-up of the technical maturity of their technological bricks. This preliminary work was then to be promoted internally and externally to allow the emergence of innovative and economically viable projects. In this context, an analysis of regulatory and fiscal frameworks was to be expected.

Abstract

The creation of a technical overview of the gasification and power to gas sectors led me at first to present a survey of the scientific literature available for these technologies. In parallel, I carried out a mapping of past and current demonstration projects in France and Europe in order to have a benchmark of projects available and to be able to appreciate the interest for the company to develop its own industrial site. I was also led to promote all the company's knowledge of these sectors in a logic of knowledge management. This work led me to contact project leaders and GRDF's decentralized network. I also had the opportunity to visit research centers run by SMEs in the sector. Finally, my study has been integrated into a working group aimed at defining the company's doctrine to invest in innovation projects. My work on taxation led me to

draw a comprehensive overview of tax mechanisms impacting the competitiveness of green gas across the entire value chain. A comparative analysis of other sectors was carried out with a zoom on the use of heat. A reflection on the opportunities for development of gas consumption by sector was then initiated. In addition, based on this analysis, I have drafted elements of direct reflection for senior management on the desirable developments of the French energy sector in the context of the reflection on the multiannual programming of energy 2019-2023.



Détendeur de gaz pour immeuble © Pierre Bastard, 2019.

Analyse et calcul
économique
Economic Calculus
and Analysis

Conseil et Expertise
Consulting & Auditing

Data Science

Financement
d'entreprises
Corporate Finance

Financement de
projets
Project Finance

Machine Learning

Politiques
publiques
Public Policy



Robinson TILLET

Élève ingénieur concours commun

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Home Delivery Services

Tutrice professionnelle • Organization Tutor :
Helena HATLAPA, Head of Client Services

Tuteur académique • Academic Tutor :
Henri PHILIPPE, enseignant, École des Ponts ParisTech



Impact des bonnes pratiques sur la productivité des *start-up* de livraison à domicile

Start-up • Livraison du dernier kilomètre • Optimisation

Contexte

Home Delivery Services est une start-up australienne spécialisée dans la livraison du « dernier kilomètre ». Elle vise principalement le secteur de la livraison de boîtes de nourriture fraîche (préparée ou non), marché très en vogue en Australie. La start-up travaille exclusivement sur la logistique et vend donc ses services aux différentes start-up qui commercialisent ce type de produits.

Missions et objectifs

Au cours de mon projet de fin d'études, j'avais deux objectifs principaux : assurer le suivi hebdomadaire en fournissant à l'équipe et au management des rapports sur l'activité de la semaine précédente, et améliorer les pratiques et les outils de la start-up, partie qui sera abordée plus en détail dans le mémoire.

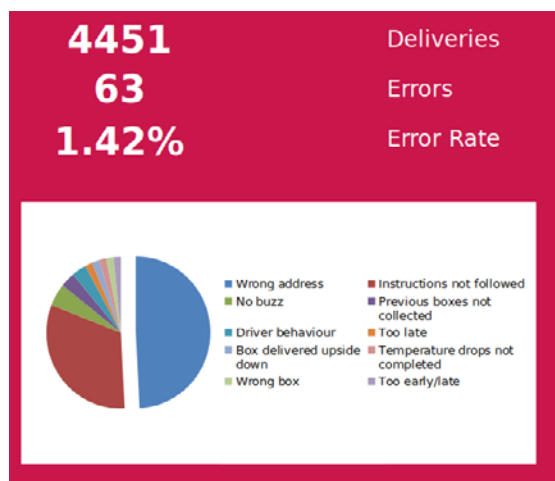
Résumé

Par leur expérience dans le secteur, les fondateurs de HDS ont réussi à identifier les parties critiques du business model de l'entreprise, puis à implémenter des outils qui ont fortement optimisé la productivité et l'efficacité de l'entreprise. Ces différentes pratiques, portant sur le suivi des livraisons, l'organisation des courses, la diminution du taux d'erreur, etc., capitalisent sur les innovations du secteur dues aux nouvelles technologies et ont permis à l'entreprise de s'imposer comme un leader sur le marché de la livraison du dernier kilomètre.

Ces différents aspects font partie intégrante de l'apport de valeur de la société. Lors de mon projet de fin d'études, je me suis penché sur ces problématiques afin d'obtenir

des solutions innovantes et faciliter la vie de l'équipe. J'ai ainsi développé et implémenté différents outils afin de comparer les performances des conducteurs, faciliter l'assignation des courses ou encore améliorer le suivi des livraisons.

En parallèle, je me suis penché sur le système de facturation de la société et j'ai entrepris un projet d'automatisation afin de réduire le temps de travail de l'équipe et de diminuer le risque d'erreurs.



Exemple du détail des erreurs de livraison © Robinson Tillet, 2019.

Impact of good practices on the productivity of food delivery start-ups

Start-up • Last mile delivery • Optimization

Context

Home Delivery Services is an Australian start-up specialized in last mile deliveries. The company delivers fresh food boxes (processed or not), a booming market in Australia. HDS focuses on the delivery part of the business and works hand in hand with food start-ups that sell these types of products.

Missions and goals

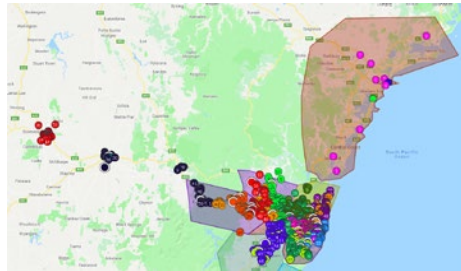
During this final year project, I had two main goals: following up on last week's deliveries by delivering reports on the activity of the previous week and improving practices of the start-up, which will be the main focus of my essay.

Abstract

Given their expertise in this sector, the HDS founders managed to identify critical parts of the business model of the company and implemented tools to improve the productivity and the efficiency of the company. These practices, targeting delivery follow-up, delivery management and a decrease in the error rate, helped the company to succeed when it comes to last miles deliveries.

All these components are key parts of the HDS business. During my final year project, I focused on these aspects to find innovative solutions, improve the efficiency of the company and reduce the amount of work needed by the team. I developed and implemented tools that aim to compare the performance of drivers, ease the assignment of orders and improve delivery follow-up.

On top of that, I also worked on the invoice process and focused on improving and automating the process in order to reduce teamwork and the risk of error.



Exemple de l'attribution de trajets dans la région de Sydney
© Robinson Tillet, 2019.

Éléments de bibliographie

JOERSS, Martin, SCHRÖDER, Jürgen, NEUHAUS, Florian, KLINK, Christoph et MANN, Florian, 2016. *Parcel delivery: The future of last mile*. McKinsey & Company. Travel, Transport and Logistics. Disponible sur : https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/travel%20transport%20and%20logistics/our%20insights/how%20customer%20demands%20are%20reshaping%20last%20mile%20delivery/parcel_delivery_the_future_of_last_mile_ashx [consulté le 3 septembre 2019].

KUO, Marc, 2017. *Food Delivery Logistics: The Ultimate Guide to Profitability* [en ligne]. Routific. Disponible à l'adresse : <https://s3.amazonaws.com/routific-whitepaper/Routific-Food-Delivery-Ebook.pdf> [consulté le 3 septembre 2019].

Analyse et calcul
économique
Economic Calculus
and Analysis

Conseil et Expertise
Consulting & Auditing

Data Science

Financement
d'entreprises
Corporate Finance

Financement de
projets
Project Finance

Machine Learning

Politiques
publiques
Public Policy



Théo LEULIET

Élève ingénieur concours commun
MSc Computer Science, Helsinki, Finlande

Promotion 2019

Début de doctorat réalisé à
CREATIS

Tutrice professionnelle • *Organization Tutor* :
Voichita MAXIM, chercheuse

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Julien REYGNER, chercheur, CERMICS, École des Ponts ParisTech



Recherche en reconstruction d'images médicales SPECT à l'aide de méthodes d'apprentissage

Reconstruction tomographique • SPECT • Problème inverse • Apprentissage profond

Contexte

Ce projet de fin d'études a été réalisé au sein du laboratoire d'imagerie médicale CREATIS à Villeurbanne.

Il correspond aux premiers mois d'une thèse entamée en octobre 2019. Cette thèse, d'une durée totale de trois ans, a pour objectif d'étudier et de tirer profit des possibilités offertes par les nouvelles méthodes d'apprentissage profond pour le domaine de la reconstruction tomographique, et notamment pour la tomographie par émission monophotonique SPECT.

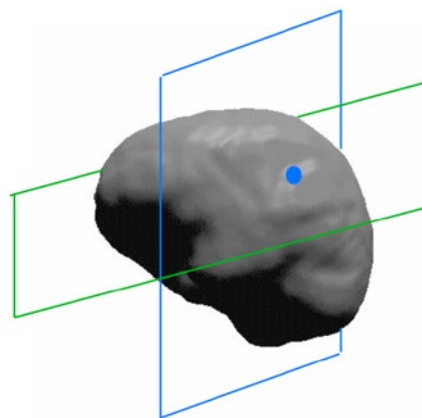
Missions et objectifs

Le but de ces mois de travail était dans un premier temps de se familiariser avec le domaine de la reconstruction tomographique, puis de réaliser une bibliographie suffisamment large de l'état de l'art des méthodes classiques ainsi que des méthodes d'apprentissage afin d'établir une base de comparaison pour les méthodes innovantes que je serai amené à proposer au cours de cette thèse.

Résumé

La reconstruction tomographique vise à recréer un volume en ayant accès à des coupes de l'objet en question, obtenues en détectant des photons émis par désintégration d'un élément radioactif injecté au patient dans le cas de l'imagerie SPECT. La reconstruction permet donc aux spécialistes d'établir un diagnostic. La modélisation mathématique du processus de reconstruction amène à la résolution d'un problème inverse, difficile à résoudre par des méthodes analytiques étant donné la complexité de la physique d'acquisition qui rend les données bruitées, incomplètes ou biaisées. Des algorithmes itératifs demandant plus de ressources computationnelles comme SIRT et MLEM ont ainsi été développés pour per-

mettre de prendre en compte la connaissance du modèle physique à l'origine des signaux détectés par les caméras. Des méthodes de régularisation ont ensuite apporté une amélioration significative sur la qualité de reconstruction des volumes, et les algorithmes associés offrent des résultats plus réalistes en lissant les zones bruitées tout en préservant les bords au sein de l'image. Néanmoins, la recherche des nombreux paramètres nécessaires à leur écriture ainsi que la difficulté d'adapter ces algorithmes à des applications distinctes sont des limites difficilement surmontables. En revanche, les méthodes récentes d'apprentissage profond adaptées à la reconstruction tomographique semblent s'affranchir de ces contraintes et laissent envisager des améliorations notables dans le domaine. Il s'agira de s'assurer de bien cerner et prouver les fondements d'une telle efficacité pour envisager un jour le déploiement effectif de telles méthodes innovantes.



Exemple de coupes tomographiques © Théo Leuliet, 2020.

Image reconstruction in SPECT imaging with deep learning methods

Tomographic reconstruction • SPECT • Inverse problem • Deep learning

Context

This project was carried out in the medical imaging laboratory CREATIS in Villeurbanne. It encompasses the first months of a PHD thesis started in October 2019. This three year work aims at studying and benefiting from the possibilities allowed by new deep learning methods in tomographic reconstruction, and especially for Single Photon Emission Computerized Tomography (SPECT).

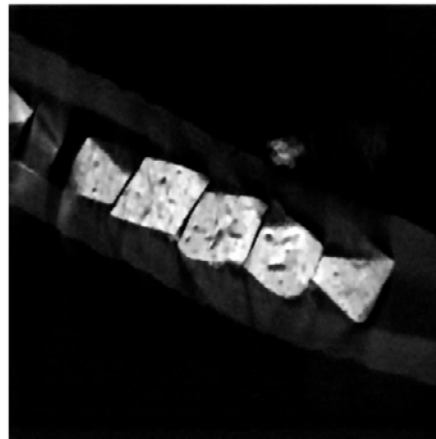
Missions and goals

The aim of these months of work was first of all to become familiar with the field of tomographic reconstruction, then to produce a sufficiently broad bibliography of the state of the art of classical methods as well as learning methods in order to establish a basis of comparison for the innovative methods that I will be led to propose during this thesis.

Abstract

Tomographic reconstruction aims to recreate a volume by having access to sections of the object in question, obtained by detecting photons emitted by the decay of a radioactive element injected into the patient in the case of SPECT imaging. Reconstruction then allows specialists to give a diagnosis. Mathematical modeling of the reconstruction process leads to solving an inverse problem, difficult to solve with analytical methods because the acquisition process is complex and tends to give noisy and incomplete data. Thus, iterative algorithms such as SIRT and MLEM, that are computationally demanding, were developed to take into account the physical model knowledge. Regula-

rization methods outperformed significantly the previous quality of reconstruction of those algorithms and associated reconstructions are more realistic while smoothing flat and noisy areas and preserving edges of the object. Nevertheless, a lot of parameters have to be chosen in those algorithms and it is also hard to adapt them to different applications, which unfortunately limits their efficiency. Recent deep learning methods adapted to tomographic reconstruction were thus developed and it seems that they may get rid of those constraints and finally outperform iterative solving methods. It is however important to make sure to be able to establish and prove the mathematical foundations of such an efficiency in order to consider deploying these methods in real applications.



Reconstruction d'un échantillon de CoONCT
© Théo Leuliet, 2020.

Analyse et calcul
économique
Economic Calculus
and Analysis

Conseil et Expertise
Consulting & Auditing

Data Science

Financement
d'entreprises
Corporate Finance

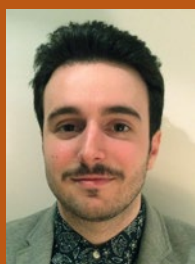
Financement de
projets
Project Finance

Machine Learning

Politiques
publiques
Public Policy

Éléments de bibliographie

MAXIM, Voichita, FENG, Yuemeng, BANJAK, Hussein et BRETIN, Elie, 2018. *Tomographic reconstruction from Poisson distributed data: a fast and convergent EM-TV dual approach* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01892281> [Consulté le 2 avril 2020].



Frédéric MARTIN

Élève ingénieur concours commun

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
École d'Économie de Paris

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Denis COGNEAU, professeur associé à PSE

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pierre BERTRAND, responsable académique du département
Sciences économiques, gestion, finance, École des Ponts ParisTech



Étude des entreprises coloniales françaises cotées à la Bourse de Paris

Colonialisme • Économie • Histoire • Entreprises • Performance

Contexte

J'ai effectué mon projet de fin d'études au sein de la Paris School of Economics, dans le groupe de travail COLECO-POL, consacré au rassemblement de données coloniales en vue d'une analyse systématique des différents aspects de l'économie politique des colonies françaises. Mon travail s'est inscrit dans la continuité de mon mémoire de master concernant la performance économique des entreprises coloniales françaises en Afrique sub-saharienne et son élargissement à l'ensemble de l'Empire.

Missions et objectifs

Mon travail au sein de COLECO-POL a principalement consisté en la constitution à partir de la base de données Data for Financial History d'une base d'entreprises opérant dans les anciennes colonies françaises, ainsi qu'un échantillon d'entreprises comparables opérant en France métropolitaine ou à l'étranger. J'ai également dû rassembler des données nécessaires à la création d'indicateurs financiers pour ces entreprises et documenter l'ensemble de ce processus.

Résumé

L'histoire de l'économie coloniale est un sujet vaste pour lequel de nombreuses études et approches existent. Il existe en particulier une génération d'auteurs qui ont publié entre les années 1970 et 1990 des travaux fondateurs de ce domaine, comme Jacques Marseille. Au cours de mon mémoire, c'est par l'étude critique de l'un de ses travaux phares, *Empire colonial et capitalisme français : histoire d'un divorce*, paru en 1984, que j'ai voulu contribuer à ce champ de la recherche. Cela fut une opportunité pour moi car au moment où j'ai décidé de me pencher

sur la question de l'empire colonial, j'ai découvert que la base de données DFIH, nouvellement constituée et à laquelle j'avais contribué au cours d'un stage à l'été 2018, était composée d'une partie des données utilisées par J. Marseille dans son travail, de telle sorte que j'ai pu réaliser le travail critique de son livre avec les mêmes données. Quelques études plus récentes remettant en cause certaines affirmations de J. Marseille existaient déjà et mon travail s'est inscrit dans leur filiation, remettant en cause les bases empiriques d'une partie importante du récit qu'il développe dans son livre. J'ai pu poursuivre ce travail au cours de ce projet de fin d'études, qui m'a amené à faire un bilan critique des outils que j'avais pu utiliser pendant mon mémoire, récolter de nouvelles données nécessaires à l'élaboration de nouveaux outils et élargir la base de données d'entreprises dont je disposais pour mon mémoire à l'ensemble de l'Empire.



La Résidence, Djenné © François-Edmond Fortier (1862-1928), début du xx^e siècle.

French colonial companies listed on the Paris stockmarket

Colonialism • Economics • History • Companies • Performance

Context

I did my final year project at the Paris School of Economics, in the COLECOPOL working group, dedicated to the gathering of colonial data in order to study the different aspects of the Political Economy of French colonies. My work followed on from my master's thesis on the economic performance of French colonial companies in Sub-Saharan Africa and its extension to the whole of the Empire.

Missions and goals

My work at COLECOPOL consisted mainly in the creation of a database of companies operating in the former French colonies, as well as a sample of comparable companies operating in metropolitan France or abroad, derived from the DFIH database. I also had to gather the data needed to create financial indicators for these companies, and document the whole process.

Abstract

The history of colonial economics is a vast subject for which many studies and approaches exist. There is, in particular, a generation of authors who published between the 1970s and 1990s foundational works in this field, namely Jacques Marseille. In the course of my master's thesis, it was through the critical study of one of his flagship works, *Empire colonial et capitalisme français : histoire d'un divorce* (*Colonial Empire and French Colonialism: the story of a divorce*), published in

1984, that I wanted to contribute to this field of research. This was an opportunity for me because at the same time I decided to address the issue of the colonial empire. I discovered that the DFIH database, newly formed and to which I had contributed during an internship in summer 2018, was composed of some of the data used by J. Marseille in his work, so I was able to carry out a critical review of his book with the same data. A few recent studies questioning some of the statements made by J. Marseille already existed and my work follows on from them, challenging the empirical basis of an important part of the narrative he develops in his book. I was able to continue this work during this final year project, which led me to review the tools used in my brief and to gather new data necessary for the development of new tools and to expand the database of companies built for my master's thesis to the whole Empire.



Mine de Sidi-Amor-Ben-Salem (photographe inconnu), début du xx^e siècle.

Analyse et calcul
économique
Economic Calculus
and Analysis

Conseil et Expertise
Consulting & Auditing

Data Science

Financement
d'entreprises
Corporate Finance

Financement de
projets
Project Finance

Machine Learning

Politiques
publiques
Public Policy

Éléments de bibliographie

MARSEILLE, Jacques, 1984. *Empire colonial et capitalisme français : histoire d'un divorce*. Paris : Albin Michel. L'Aventure humaine.

DAVIS, Lance E. et HUTTENBACK, Robert A., 1986. *Mammon and the pursuit of empire: the political economy of British imperialism, 1860-1912*. Cambridge ; New York : Cambridge University Press. Interdisciplinary perspectives on modern history.

HUILLERY, Elise, 2014. The Black Man's Burden: The Cost of Colonization of French West Africa. *The Journal of Economic History*, 2014, vol. 74, n° 1, p. 1-38. DOI 10.1017/S0022050714000011 [consulté le 7.05.2020].



Félix ROUBAUD

Élève ingénieur concours commun

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Bsport

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Sofan MEDBOUHI, CTO

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Stéphane ROBIN, enseignant, École des Ponts ParisTech



L'analyse de données peut-elle encore améliorer le *marketing automation* ?

Marketing automation • IA • Nudge • SAAS

Contexte

Le marketing digital est plus que jamais au cœur de tous les *business models* et les budgets qui lui sont alloués ne cessent d'augmenter. Dans cette course effrénée pour capter l'attention des consommateurs, des techniques d'amélioration du processus marketing voient le jour. Parmi celles-ci se trouve le *marketing automation* : l'art d'améliorer le marketing digital tout en diminuant ses coûts.

Missions et objectifs

L'objectif de ce travail était de comprendre et d'améliorer les mécanismes mis en jeu dans le *marketing automation*. Le sujet étant relativement récent, les solutions disponibles aujourd'hui sont incomplètes. À la lumière de mon expérience professionnelle, je propose des solutions d'amélioration aussi bien concrètes que théoriques.

Résumé

Le *marketing automation* permet d'automatiser certaines étapes du marketing, notamment ce qui concerne l'*emailing*. Les outils SAAS à disposition permettent aux entreprises d'améliorer leurs processus marketing en ciblant mieux les clients et en allouant moins de ressources au marketing. Mais grâce aux outils digitaux, les données disponibles sur les utilisateurs se multiplient et les solutions de *marketing automation* ne permettent pas de toutes les exploiter. Elles peuvent intégrer les données de navigation et les données personnelles des utilisateurs, mais n'ont aucun moyen de traiter les données internes d'une entreprise. C'est une vraie lacune pour les entreprises nécessitant un suivi particulier du client, comme les salles

de sport. La solution est de développer un outil marketing au sein même de l'entreprise, ou de l'organisme gérant la base de données. L'exploitation des données de l'entreprise en vue de résultats dynamiques reste alors néanmoins un défi technique. D'autres méthodes d'analyse de données peuvent venir améliorer le processus de *marketing automation*. L'IA permet par exemple d'augmenter la granularité de la personnalisation du message, en ciblant chaque personne de manière indépendante. Les *nudges*, plus subtils, sont aussi une amélioration intéressante du processus marketing. Pour un coût presque nul, ils permettent d'orienter la décision du consommateur. Le choix entre la segmentation fine mais onéreuse de l'intelligence artificielle et l'incitation subtile des *nudges* dépend du contexte et de l'entreprise. C'est d'abord un choix financier, mais aussi un choix technique puisque le RGPD complique aujourd'hui l'exploitation des données.



Le marketing digital © talhakhali007, 2019 (source : Pixabay).

Can data analysis still improve marketing automation?

Marketing automation • AI • Nudges • SAAS

Context

Digital marketing is more than ever in every business model and allocated budgets are skyrocketing. In this hurry to catch consumers attention, some improvements of the marketing process are occurring. Among them is marketing automation, the art of improving digital marketing while lowering its costs.

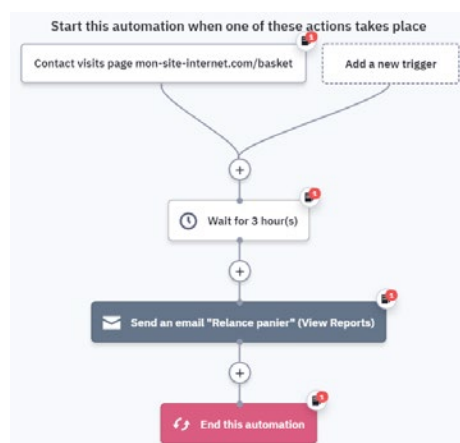
Missions and goals

The mission of this work is to understand marketing automation mechanisms. This is a relatively new subject, and solutions are not perfect. At the light of my professional experience, I offer some theoretical and concrete improvements.

Abstract

Marketing automation is made to automate some marketing steps, especially emailing. SAAS tools on the market offer companies a way to improve marketing by better targeting clients and to lower overall costs. But thanks to digital tools, available data on consumers is growing and marketing tools can't handle all of this. They can integrate navigation and personal data, but can not look at the inside data of a company. This is a real shortcoming for companies requiring special customer care, such as sports halls. One way out is to develop a tool within the company. However, the exploitation of data to find dynamic results remains a technical challenge. Some other data analysis methods can also improve the marketing automation process. For example, AI increases

the granularity of message personalization by targeting each person independently. Nudges, which are more subtle, are also an interesting improvement in the marketing process. At almost no cost, they help guide the consumer's decision. The choice between the fine but expensive segmentation of AI and the subtle incentive of nudges depends on the context and the company. It is first of all a financial choice, but also a technical choice since the RGPD complicates today the exploitation of data.



Relance automatique de paniers abandonnés © Félix Roubaud, 2020.

Analyse et calcul économique
Economic Calculus and Analysis

Conseil et Expertise
Consulting & Auditing

Data Science

Financement d'entreprises
Corporate Finance

Financement de projets
Project Finance

Machine Learning

Politiques publiques
Public Policy



Nerea VADILLO FERNANDEZ

Élève ingénieure concours commun
Master of Science in Statistics, National University of Singapore (NUS)

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
AXA

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Maxime DEROUBAIX, souscripteur

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Julien REYGNER, chercheur, CERMICS, École des Ponts ParisTech



Les défis techniques de l'assurance indicielle

Assurance paramétrique • Risque • Images satellites •
Théorie des valeurs extrêmes • Climat

Contexte

L'assurance paramétrique est un produit d'assurance qui couvre notamment des risques climatiques. Il s'agit de couvertures indexées sur un indice météorologique. AXA Climate est la filiale d'AXA en charge de la conception et de la tarification de ces produits.

Missions et objectifs

J'ai réalisé mon projet de fin d'études au sein de l'équipe de souscription d'AXA Climate, en charge de la conception et de la tarification des produits paramétriques. Je devais, en particulier, développer deux chantiers : l'analyse des données satellites et l'implémentation des distributions des valeurs extrêmes dans l'évaluation statistique du risque.

Résumé

Le rapport est structuré de manière à faire ressortir les enjeux techniques liés à la souscription de produits paramétriques. Tout d'abord, j'ai analysé des problématiques liées à la disponibilité et à la qualité de la donnée. La donnée météorologique est notamment issue soit de stations météorologiques, soit d'images satellites. J'ai analysé le potentiel de cette deuxième source avec un cas d'application. J'ai alors cherché à identifier des indices de végétation capables de repérer des inondations. Dans un deuxième temps, le mémoire s'intéresse aux méthodes d'évaluation statistique du risque et du calcul de la prime. Les techniques principales d'analyse du risque sont alors présentées. L'une des méthodes demande la modélisation de l'indice météorologique : une de mes missions a été d'implémenter la théorie des valeurs extrêmes dans le cadre de cette deuxième méthode. Ces modèles ont été testés puis intégrés à notre outil de tarification. Finalement, la conception même du risque et la structuration d'une couverture adaptée est un enjeu en soi, ce qui a été illustré par la conception d'une couverture contre les hivers froids pour un acteur du secteur énergétique. Ces trois axes marquent les trois enjeux majeurs dans la souscription de produits d'assurance paramétrique.

Technical challenges of index-based insurance

Parametric insurance • Risk • Satellite images •
Extreme value theory • Climate

Context

Parametric insurance is an insurance product that covers climatic risks. These products are triggered following a meteorological index. AXA Climate is the AXA subsidiary in charge of designing and pricing these products.

Missions and goals

During my final year project, I was part of the AXA Climate underwriting team. We oversaw the design and pricing of parametric products. I had two main projects: the analysis of satellite data and the implementation of extreme value theory in our statistical risk assessment.

Abstract

The report is structured in such a way as to highlight the technical issues related to the underwriting of parametric products. Firstly, we analyze issues related to data availability and quality. Meteorological data is derived either from weather stations or satellite images. We analyze the potential of this second source with an application case. We then seek to identify vegetation indices capable of detecting flooding. The second section looks at methods for statistical risk assessment and premium calculation. Two main techniques for risk analysis are then presented. The second method involves the modelling of the meteorological index. One of my missions was to implement extreme value theory for climate index modelling. These models were tested and then integrated into our pricing tool. Finally, the design of the risk and the structuring of an adapted cover is a challenge in itself. We illustrate this with the design of a cold winter cover for a player in the energy sector. These three axes correspond to three major challenges I identified in index-based insurance underwriting.

Analyse et calcul
économique
Economic Calculus
and Analysis

Conseil et Expertise
Consulting & Auditing

Data Science

Financement
d'entreprises
Corporate Finance

Financement de
projets
Project Finance

Machine Learning

Politiques
publiques
Public Policy

Éléments de bibliographie

GUMBEL, Emil Julius, 2012. *Statistics of extremes*. Courier Corporation, 400 p.

JEWSON, Stephen et BRIX, Anders, 2005. *Weather derivative valuation: the meteorological, statistical, financial and mathematical foundations*. Cambridge ; New York : Cambridge University Press, 373 p.



Marion CHÉRUBIN

Élève ingénieure concours commun
MSc in Accounting and Finance, London School of Economics

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à :
PwC Advisory

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Romain DOUEL, manager en Valuation & Business Modelling

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Henri PHILIPPE, enseignant, École des Ponts ParisTech



Une dépréciation de *goodwill*, quels impacts pour les entreprises ?

Goodwill • Test de dépréciation • IFRS3 • Actifs incorporels • Réaction du marché

Contexte

Au cours de mon projet de fin d'études réalisé au sein de l'équipe Valuation & Business Modelling de PwC, j'ai eu l'occasion d'appréhender la valorisation de nombreux actifs corporels et incorporels, notamment dans le cadre de tests de dépréciations. Intéressée par la notion de *goodwill* et la communication des entreprises vis-à-vis de cet actif, je me suis penchée sur les impacts potentiels de l'annonce d'une perte de valeur du *goodwill*, impacts qui peuvent dans certains cas justifier la réticence de certains préparateurs des comptes à déprécier le *goodwill*.

Missions et objectifs

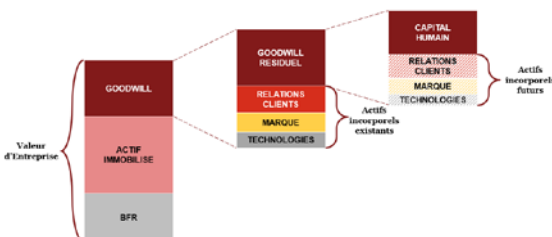
Mes missions au cours de ce stage ont principalement consisté à rechercher des paramètres de valorisation et à mettre en œuvre des modèles de valorisation dans des contextes différents : transaction, valorisation fiscale, tests de dépréciation, allocation du prix d'acquisition, etc. Les deux derniers contextes cités, qui correspondent davantage à des exercices comptables, s'inscrivent plus particulièrement dans le cadre du mémoire.

Résumé

Le prix d'une transaction se rationalise par deux éléments distincts. D'une part, ce prix reflète l'ensemble des actifs et passifs acquis et identifiables à date de l'acquisition réévalués à leur juste valeur. D'autre part, il représente tout élément, non caractérisé à date de l'acquisition, qui peut émerger du rapprochement de deux sociétés comme des synergies potentielles ou encore le développement futur de la société. Ce deuxième élément, appelé *good-*

will ou écart d'acquisition, constitue un actif incorporel occupant une place grandissante dans les comptes des sociétés et posant de plus en plus de difficultés pour les régulateurs qui ne cessent de réformer les normes relatives à cet actif. La plus récente en date est la norme IFRS 3 en Europe (SFAS 142 aux États-Unis), qui préconise de tester la valeur du *goodwill* chaque année au même titre qu'un actif incorporel à durée de vie infinie.

Cette comptabilisation du *goodwill* soulève la question de la communication de l'entreprise vis-à-vis d'une perte de valeur de cet actif. La prise en compte des impacts d'une telle annonce est essentielle pour l'entreprise car l'annonce peut communiquer au marché une information peut-être non anticipée par celui-ci. L'ampleur de ces impacts peuvent ainsi potentiellement influencer les décisions prises et les pratiques mises en œuvre par le management des sociétés cotées vis-à-vis des dépréciations d'actifs. Les réactions du marché après annonce ou encore la dégradation potentielle de la performance future sont les impacts les plus connus par les entreprises et sont ceux développés par cette analyse.



Passage de la valeur d'entreprise au *goodwill* © Marion Chérubin, 2020.

Goodwill impairment's impacts on listed companies

Goodwill • Impairment tests • IFRS3 • Intangible assets • Market reaction

Context

Within the framework of a 6-month internship at PwC on the Valuation & Business Modelling team, I had the opportunity to better understand the valuation of tangible and intangible assets, particularly when we performed impairment tests. Being interested in goodwill accounting treatment and what it implies for firms' communication, I looked deeper into the impacts of an announcement of goodwill write-off that may justify Management's reluctance to recognize an impairment loss.

Missions and goals

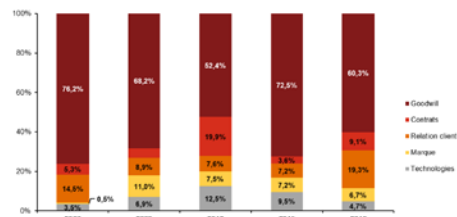
During this final year project, I essentially worked on valuation parameters and valuation models and contributed to the following missions: deal, tax valuation, impairment tests, purchase price allocation. The last two elements are more accounting-focused and are highly correlated to the purpose of this study.

Abstract

The acquisition price is composed of two distinct components. On the one hand, this price reflects all the assets and liabilities acquired and identified at the acquisition date, considered at their fair price. On the other hand, it represents all future elements, that are not yet materialized but may emerge from the acquisition and create value for the firm such as synergies, economies of scale, etc. This second component, called goodwill, is classified as an intangible asset and is gaining

more and more importance in firms' financial statements. Accounting authorities reviewed the accounting treatment of goodwill many times during the past few years. The most recent regulation about goodwill, IFRS 3, considers this asset as an indefinite-lived asset and thus requires listed companies to perform impairment tests every year.

This new accounting treatment raises the issue of financial communication for companies that experience a goodwill impairment loss. The consideration of the potential impacts of this kind of announcement to the market is essential for companies as it constitutes the disclosure of information that may have not been anticipated by investors. Those impacts may therefore influence and modify decisions and behaviour of Managements that are facing potential asset impairment issues. Market reactions to goodwill impairment loss or the potential decrease of the companies' future performance are among the most known and feared impacts and are developed by this analysis.



Répartition de la valeur allouée aux actifs identifiables lors des PPA © Marion Chérubin, 2020.

- Analyse et calcul économique
Economic Calculus and Analysis
- Conseil et Expertise
Consulting & Auditing
- Data Science
- **Financement d'entreprises
Corporate Finance**
- Financement de projets
Project Finance
- Machine Learning
- Politiques publiques
Public Policy

Éléments de bibliographie

LI, Zining, SHROFF, Pervin K., VENKATARAMAN, Ramgopal et ZHANG, Ivy Xiying, 2011. Causes and consequences of goodwill impairment losses. *Review of Accounting Studies*, 2011, vol. 16, n° 4, p. 745-778. DOI 10.1007/s11142-011-9167-2.



Aurélie SHI

Élève ingénieure double diplôme

HEC Paris

Engineering and Policy Analysis, université de technologie de Delft, Pays-Bas

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Banque Hottinguer

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Omar ESSAID EL FEYDI, Associate

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Dominique JACQUET, président du département Sciences économiques,
gestion, finance, École des Ponts ParisTech



Étude des écarts de prix entre transactions stratégiques et transactions financières

Fusions-acquisitions • Finance • Évaluation • Synergies • Création de valeur

Contexte

Dans les opérations de prise de contrôle, on distingue fréquemment deux types d'acquéreurs : les acquéreurs stratégiques et les acquéreurs financiers. La recherche en finance considère généralement que les acquéreurs stratégiques valorisent davantage les cibles du fait de leur capacité à dégager des synergies. Cependant, on assiste à une montée en puissance des acquéreurs financiers, qui deviennent des concurrents de taille sur le marché du contrôle.

Missions et objectifs

Missions :

- recherches sectorielles ;
- participation à la préparation de pitch et autres présentations (mémoire d'information, profils, etc.) ;
- participation à l'organisation d'un processus de vente ;
- modélisation financière.

Objectifs :

- analyse fondamentale sur les rationnels des primes ;
- statistiques sur une base de transactions passées ;
- analyse détaillée de cas réels.

Résumé

D'un point de vue théorique, plusieurs éléments peuvent justifier le versement de primes élevées par les acquéreurs stratégiques : les synergies attendues du rapprochement, des considérations stratégiques et des motivations non économiques. Du côté des acquéreurs financiers, on trouve l'amélioration de la performance de l'entreprise par des mécanismes spécifiques (LBO), les synergies générées dans le cadre d'une stratégie « Buy-and-build » et la pression exercée par les pourvoyeurs de fonds pour déployer le capital. Si ces éléments permettent d'expliquer une partie de la prime versée, le prix d'une

transaction est le fruit d'un processus complexe et peut être influencé par les conditions de marché, la forme du processus et les motivations des différentes parties.

L'étude statistique conduite dans la deuxième partie du rapport a pour objectif d'évaluer le lien entre la théorie et ce qu'on observe dans la pratique. Les données recueillies sur un échantillon de plus de 2 500 transactions montrent que la prime est significativement supérieure dans les transactions stratégiques, avec des variations importantes entre les secteurs.

Enfin, des études de cas sont présentées et analysées afin d'illustrer les idées et concepts des deux parties précédentes. L'acquisition de SFR par Numericable permet notamment d'illustrer l'importance des synergies dans les transactions stratégiques et les différents facteurs pouvant influencer le prix final. Le rachat de WhatsApp par Facebook illustre dans quelle mesure des considérations stratégiques peuvent justifier le paiement d'une prime très élevée. Enfin, les LBO successifs dont Picard Surgelés a fait l'objet entre 2001 et 2011 sont des exemples de transactions financières menées avec succès.



Stratégie © Jan Vašek, 2018 (source : Pixabay). Disponible sur : <https://pixabay.com/images/id-3325010/>.

Analysis of differences between prices paid by strategic acquirers and financial acquirers

Mergers & acquisitions • Finance • Valuation •
Synergies • Value creation

Context

In Mergers and Acquisitions, there are two types of acquirers: strategic acquirers and financial acquirers. Financial research usually considers that strategic acquirers value targets more than financial acquirers due to their ability to generate synergies. However, financial sponsors are gaining momentum and have become significant competitors in the takeover market.

Missions and goals

Missions:

- conducting in-depth industry and market research in respect of target clients and transaction opportunities;
- preparing pitchbooks and presentations, including company strategic and financial analysis;
- building financial models and valuation;
- participating in buy/sell-side process, including client meetings and presentations.

Goals:

- fundamental analysis of the rationale behind acquisition premiums;
- statistical study of past transactions;
- in-depth analysis of real cases.

Abstract

From a theoretical standpoint, several elements can justify the payment of high premiums by strategic acquirers: expected synergies, strategic considerations, and non-economic motivations. For financial sponsors, elements include the improvement of the target's performance via specific mechanisms (LBO), synergies in a "Buy-

and-build" strategy, and the pressure that Limited Partners put on them to deploy capital. If these elements can partly explain the level of premium, the price of a transaction results from a complex process. Market conditions, the process itself, and motivations of each party also influence it.

The second section of the report dives into data analysis. Data collected on a sample of more than 2,500 transactions shows that the premium is significantly higher in strategic transactions, with variations across sectors.

In the third section, we apply theoretical findings and evaluate them against real cases. Numerical's acquisition of SFR illustrates the importance of synergies in strategic transactions and factors that influence the final price. The acquisition of WhatsApp by Facebook is a case in point, as strategic considerations justified the payment of a very high premium. Finally, the LBOs that Picard Surgelés underwent between 2001 and 2011 are examples of successful financial transactions.



Investissement © Nattanan Kanchanaprat, 2017 (Source : Pixabay). Disponible sur : <https://pixabay.com/images/id-2724241/>.

Éléments de bibliographie

CHATTERJEE, Arijit et HAMBRICK, Donald C., 2007. It's All about Me: Narcissistic Chief Executive Officers and Their Effects on Company Strategy and Performance. *Administrative Science Quarterly* [en ligne], 2007, vol. 52, n° 3, pp. 351-386. DOI 10.2189/asqu.52.3.351 [consulté le 2 avril 2020].

KOLLER, Tim, GOEDHART, Marc, WESSELS, David et MCKINSEY & COMPANY, 2015. *Valuation: measuring and managing the value of companies*. Hoboken, États-Unis d'Amérique : John Wiley & Sons, 896 p.

VERNIMMEN, Pierre, 2014. *Corporate finance: theory and practice*. Chichester, Royaume-Uni : John Wiley & Sons, 1000 p.

Analyse et calcul
économique
Economic Calculus
and Analysis

Conseil et Expertise
Consulting & Auditing

Data Science

Financement
d'entreprises
Corporate Finance

Financement de
projets
Project Finance

Machine Learning

Politiques
publiques
Public Policy



Javier SANCHIZ RODRIGUEZ-BOBADA

Élève ingénieur double diplôme
Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelone, Espagne

Promotion 2018

Mission en entreprise réalisée à
HSBC France

Tutrice professionnelle • *Organization Tutor* :
Anne-Claire DE VAUPLANE, Associate Director

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Antoine ARDUIN, enseignant, École des Ponts ParisTech



École des Ponts
ParisTech



Le refinancement en *project finance* suite à la crise financière

Refinancement • Financement de projet • Swap • Taux d'intérêt • Mini-perms

Contexte

Dans ce projet de fin d'études, nous traitons notamment la question du refinancement : il s'agit de la restructuration d'un financement existant pour le projet afin de bénéficier de meilleures conditions ou encore de lever et d'optimiser une nouvelle solution de financement maximisant le rendement de l'actionnaire, notamment grâce à l'effet de levier. Nous nous focalisons surtout sur les changements de conditions conjoncturels encourageant la mise en œuvre de l'opération.

Missions et objectifs

Ce projet de fin d'études traite des différents enjeux liés au processus de refinancement et explique les conditions favorables actuelles, qui encouragent la mise en œuvre de cette opération. Nous traitons dans un premier temps des sources classiques de financement pour les projets PPP afin de mieux comprendre les différentes facilités pouvant être utilisées dans le financement initial du projet. Dans un second temps, nous exposons les principaux changements dans les conditions de financement suite à la crise financière de 2008. Dans un troisième temps, nous abordons les raisons qui encouragent actuellement la mise en place de cette opération. Dans un quatrième temps, nous expliquons le processus et les enjeux principaux du refinancement. Enfin, la question de la couverture du risque de taux d'intérêt est traitée, celle-ci jouant un rôle très important dans l'opération de refinancement.

Résumé

Le refinancement peut être défini comme le remplacement ou la renégociation du financement initial de la société projet à des conditions plus avantageuses. Cette opération peut devenir intéressante pour la société projet selon plusieurs facteurs : une amélioration des conditions financières sur les marchés, comme en cas de baisse des taux d'intérêt ; une amélioration du profil de risque du projet ; les facilités utilisées dans le financement initial obligent ou encouragent cette solution, comme c'est le cas des mini-perms.

La situation actuelle est beaucoup plus favorable qu'au moment de la crise financière et des années suivantes. C'est pour cette raison que ces facteurs ont encouragé la mise en place de ces opérations de refinancement.

Ce projet de fin d'études a pour objectif d'expliquer les éléments structurants à prendre en compte lors d'une opération de refinancement comme le calcul et le partage du gain, les types de refinancement (bancaire ou obligataire principalement), les stratégies de couverture des taux d'intérêt, ainsi que le dimensionnement et le reprofilage des remboursements des dettes pour optimiser la structure financière du projet.

Le processus et l'organisation d'un refinancement peuvent être regroupés en quatre phases : la pré-validation et la préparation du refinancement ; l'appel d'offres ; la structuration ; son exécution.

Refinancing in project finance following the financial crisis

Refinancing • Project Financing • Swap • Interest Rate • Mini-Perms

Context

In this final year project, we are notably dealing with the issue of refinancing, i.e. the restructuring of an existing financing for the project in order to benefit from better conditions or to raise and optimize a new financing solution maximizing the shareholder's return, in particular through leverage. We focus primarily on changes in economic conditions that encourage the implementation of the transaction.

Missions and goals

The goal of this final year project is to tackle the different issues related to a refinancing operation and to explain the favourable conditions that we are currently experiencing, which have encouraged the implementation of this kind of exercise. In order to approach this subject, we first deal with the conventional sources of funding for PPP projects to better understand the different tools that may have been used in the initial funding of the project. Secondly, we talk about the main changes in the financing conditions following the 2008 financial crisis. Thirdly, we discuss the reasons which encourage the implementation of this operation at present. Next, we explain the main refinancing stages, and finally, we clarify the coverage of the interest rate risk, which plays a very important role in the refinancing operation.

Abstract

Refinancing can be defined as the replacement or renegotiation of the initial financing of the Project Company on more favourable terms. This operation can be interesting for the Project Company due to several factors. Firstly, an improvement in the financial conditions on the markets, for instance, a decrease in interest rates. Secondly, an improvement in the risk profile of the project, and lastly, that the facilities used in the initial financing, such as the Mini-Perms, force or encourage the implementation of this operation.

The current situation is much more favourable than that of the financial crisis and the years that followed. For this reason, these factors have encouraged the implementation of these refinancing operations.

This report aims to explain the key points that must be taken into account during a refinancing operation, such as the calculation and sharing of the refinancing gain, the types of refinancing (mainly bank or bond), interest rate hedging strategies, and the sizing and reprofiling of debt repayments to optimize the financial structure of the project.

Regarding the process and organization of refinancing, this can be grouped into four phases. In the first, the pre-validation and preparation of the refinancing ; in the second, the call for tenders ; in the third, structuring, and finally, the execution.

Analyse et calcul
économique
Economic Calculus
and Analysis

Conseil et Expertise
Consulting & Auditing

Data Science

Financement
d'entreprises
Corporate Finance

Financement de
projets
Project Finance

Machine Learning

Politiques
publiques
Public Policy

Éléments de bibliographie

LYONNET DU MOUTIER, Michel et FOURCHY, Clément, 2012. *Financement de projet et partenariats public-privé*. Cormelles-le-royal : Éd. EMS, Management & société, 391 p.

MURPHY, Tim, 2010. *Financing challenges for P3 projects after the credit crisis*. Montréal : McMillan, 28 p.

DUPAS, Nicolas, MARTY, Frédéric et VOISIN, Arnaud, 2011. Mini-perm Structures in PPP Contracts: Risks and Opportunities. Preprint disponible sur HAL à l'adresse : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00686701/>.



Côme GIRSCHIG

Élève ingénieur concours commun
Sciences Po Paris, Affaires internationales

Promotion 2018

Mission en entreprise réalisée au
Ministère de la Transition écologique et solidaire

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Quentin DESLOT, chef de bureau

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pierre BERTRAND, responsable académique du département
Sciences économiques, gestion, finance, École des Ponts ParisTech



Conception et développement du calculateur énergie-carbone GESTime

Climat • Modélisation • Gaz à effet de serre • Énergie • Politiques publiques

Contexte

Dans le cadre de la stratégie nationale bas carbone, le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) doit en permanence effectuer des travaux de prospective quantitative. Ces modélisations permettent de donner des ordres de grandeur des émissions de GES futures à partir de l'évolution des différents parcs (bâtiment, voitures, industries, etc.), de l'efficacité énergétique, des taux de substitution de matière première par des matières recyclées, etc.

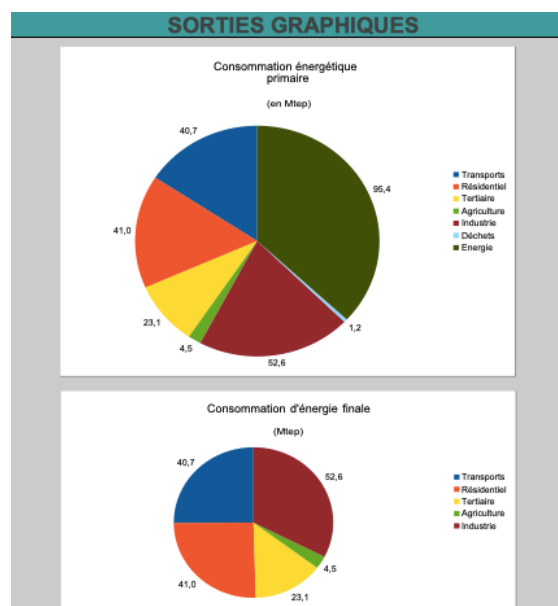
Missions et objectifs

En arrivant au MTES, j'ai eu pour mission de concevoir un nouveau calculateur énergie-climat permettant aux différentes équipes de la direction « lutte contre l'effet de serre » (DLCES) de faire des modélisations rapides. Le premier objectif était que tout fonctionnaire travaillant à la DLCES puisse faire lui-même une simulation sans faire appel à une expertise extérieure. Le calculateur devait donc être facile d'emploi et aisé à mettre à jour (les calculateurs trop précis ont le défaut d'être peu compatibles avec le « turn over » caractéristique des ministères).

Résumé

Pendant ce projet de fin d'études, j'ai donc fait le choix de concevoir et développer un modèle statique reposant sur le principe de l'équation de Kaya. Cela a permis d'évacuer les effets de transition propres aux modèles de parc. La véritable complexité du modèle reposait dans son « bouclage », c'est-à-dire dans l'endogénéisation de certaines variables d'entrée, grâce à des liaisons inter-sectorielles. Toujours dans une logique de simplification de l'usage,

j'ai fait en sorte que l'outil donne des sorties compatibles avec le formalisme des données utilisées par le ministère. Enfin, j'ai cherché à rendre le modèle exhaustif et compact : un seul fichier Excel permet ainsi de représenter les 8 secteurs émetteurs de GES en France, données sources et méthodes incluses. Cette compacité visait, une fois de plus, à faciliter son emploi. J'ai baptisé ce modèle GES-time.



Exemple de sorties graphiques de l'onglet de sortie du modèle GESTime
© Côme Girschig, 2020.

Design and development of the GEstime energy-carbon calculator

Climate • Modelling • Energy • Public policy • GHG

Context

As part of the National Low Carbon Strategy, the French Ministry of Environment (MTES) must permanently carry out quantitative prospective work. These models make it possible to give orders of magnitude for future GHG emissions based on the evolution of the various fleets (building, cars, industries, etc), energy efficiency, rates of substitution of raw materials by recycled materials, etc.

Missions and goals

When I arrived at the MTES, my mission was to design a new energy-climate calculator allowing the different Ministry members to make rapid modelling. The first objective was that any official working at the DLCES (greenhouse gas reduction body) could do a simulation by themselves without calling on outside expertise. The calculator should therefore be easy to use and easy to update (too precise calculators have the defect of being incompatible with the characteristic "turn over" of Ministries).

Abstract

I made the choice to design and develop a static model based on the principle of the Kaya equation. This allowed me to evacuate the transition effects specific to the park models. The real complexity of the model lay in its "closure": that is to say in the endogenization of certain input variables, thanks to inter-sectorial links. Still in a logic of simplification of use, I made sure that the tool gave outputs compatible with the formalism of the data used by the ministry. Finally, I sought to make the model exhaustive and compact: a single Excel file thus makes it possible to represent the 8 sectors emitting GHGs in France, source data and methods included. This compactness was, once again, thought to facilitate its use. I gave a name to this model: GEstime.



L'urgence climatique [N'EST PAS] un leurre - Réponse à François Gervais

Création d'une vidéo Youtube contre un climato-sceptique ©
Côme Girschig, 2018.

- Analyse et calcul économique
Economic Calculus and Analysis
- Conseil et Expertise
Consulting & Auditing
- Data Science
- Financement d'entreprises
Corporate Finance
- Financement de projets
Project Finance
- Machine Learning
- Politiques publiques
Public Policy

Éléments de bibliographie

MORIN, Edgar, 2015, *Introduction à la pensée complexe*. Paris : Le Seuil, 158 p.



Jean-Guillaume MAGRÉ

Élève ingénieur concours commun
MSc. Economics, London School of Economics and Political Science

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Banque centrale européenne

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Daniel KAPP, Principal Economist

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Pierre BERTRAND, responsable académique, département Sciences économiques,
gestion, finance, École des Ponts ParisTech



Comment la BCE peut-elle utiliser les produits dérivés dans sa politique monétaire ?

Politique monétaire • EMIR • Anticipations d'inflation • Produits dérivés

Contexte

Les anticipations d'inflation pour la zone euro reflétées dans les instruments financiers et les enquêtes auprès des prévisionnistes professionnels ont atteint des niveaux historiquement bas. Parallèlement, la Banque centrale européenne (BCE) a désormais accès aux données détaillées de l'ensemble des transactions de produits dérivés dans la zone euro, y compris de gré à gré, dans le cadre de la régulation EMIR.

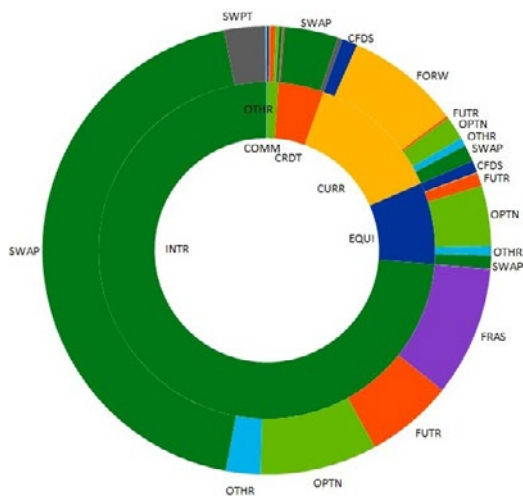
Missions et objectifs

L'objectif de ce projet de fin d'études est de développer de nouveaux indicateurs qui reflètent les anticipations de la politique monétaire par les acteurs financiers à l'aide des données EMIR. En nous inspirant de la Commodity Futures Trading Commission, nous définissons un ensemble d'investisseurs supposés informés et étudions leur positionnement net au fil du temps à travers différents produits dérivés sur taux d'intérêt.

Résumé

Nous commençons par introduire les raisons pour lesquelles les banques centrales suivent l'évolution des anticipations des marchés, notamment pour vérifier que leur objectif d'inflation est ancré et leur fonction de réaction comprise, mais aussi pour comparer leurs prévisions. Nous présentons ensuite l'évolution des principales mesures de l'inflation réalisée au cours des deux dernières décennies aux États-Unis, au Royaume-Uni et dans la zone euro, et montrons que la BCE, en particulier, a été en deçà de son objectif depuis la crise financière de 2008. Cela pose la question de sa crédibilité alors que les anticipations d'inflation 5 ans/5 ans reflétées dans les *swaps*

de taux et le point mort d'inflation des obligations sont à leur plus bas niveau. Nous insistons sur les limites de ces indicateurs et proposons de nous intéresser au positionnement des fonds d'investissement dans les marchés de produits dérivés (dont les contrats à terme sur l'Euribor et sur les bons souverains allemands, et les *swaps* de taux sur l'Eonia). Le calcul de ce positionnement en pratique demande de nettoyer les données EMIR et d'utiliser une classification robuste des acteurs du marché. Le résultat est cohérent par rapport aux mesures couramment utilisées et peut servir de complément à celles-ci. Il possède néanmoins ses propres limitations, qui pourraient être réduites avec l'amélioration continue de la qualité des données.



Distribution of notional values in EMIR data accessible to the ECB (16/10/2019) © Jean-Guillaume Magré, 2019.

How can the ECB use derivative contracts to conduct its monetary policy?

Monetary policy • EMIR • Inflation expectations •
Derivative contracts

Context

Inflation expectations for the euro area, as reflected in financial instruments and the Survey of Professional Forecasters, have reached historically low levels. Against this backdrop, the European Central Bank (ECB) has now access to granular data on all the derivative contracts in the euro area, including over-the-counter, thanks to the European Market Infrastructure Regulation (EMIR).

Missions and goals

This final year project aims at developing new indicators of market expectations of the ECB's monetary policies using EMIR data. Similar to the Commitments of Traders reports of the Commodity Futures Trading Commission, we define a subset of market participants deemed informed and study the changes in their net positioning over time across different types of interest rate derivatives.

Abstract

We start by introducing the reasons for which central banks closely monitor changes in market expectations, notably to check if their inflation target rate is anchored and their reaction function well understood, but also to cross-check their forecasts. We present the developments of the main measures of inflation realized during the last two decades in the United States, the United

Kingdom and the euro area. The ECB in particular has undershot its target since the great financial crisis of 2008. This calls into question its credibility as market-based measures of inflation expectations, reflected in the 5-year/5-year inflation-linked swaps or break-even inflation rates, are at an all-time low. We delve into the limits of these indicators and focus on the positioning of investment funds in derivative markets, notably in contracts such as Euribor futures, German sovereign bond futures and Eonia swaps. To obtain these indicators in practice, we clean the EMIR data and enrich it with a robust classification of market participants. The results are consistent with the usual measures of expectations and can be useful complements for the monetary policy process. There are nevertheless other limitations, which could be partly alleviated as the quality of the data is continuously improving.



Market-based measures of inflation expectations for the euro area © Jean-Guillaume Magré, 2019.

Éléments de bibliographie

ABAD, Jorge, et al., 2016. *Shedding light on dark markets: First insights from the new EU-wide OTC derivatives dataset* [en ligne]. ESRB Occasional Paper Series, n°11. Disponible à l'adresse : <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/193606/1/esrb-op-11.pdf>. [Consulté le 11 mars 2020].

BONEVA, Lena, BÖNINGHAUSEN, Benjamin, FACHE ROUSOVÁ, Linda et LETIZIA, Elisa, 2019. Derivatives transactions data and their use in central bank analysis. *Economic Bulletin* [en ligne], 2019, vol. 6. Disponible à l'adresse : https://www.ecb.europa.eu/pub/economic-bulletin/articles/2019/html/ecb.ebart201906_01-dd0cd7f942.en.html. [Consulté le 11 mars 2020].

HULL, John C., 2018. *Options, futures, and other derivatives*. 10^e édition. New York, États-Unis : Pearson, 868 p.

- Analyse et calcul économique
- Economic Calculus and Analysis
- Conseil et Expertise Consulting & Auditing
- Data Science
- Financement d'entreprises
- Corporate Finance
- Financement de projets
- Project Finance
- Machine Learning
- Politiques publiques
- Public Policy

Ville, environnement, transport

City, Environment, Transportation

Le département Ville, environnement, transport forme des ingénieurs concepteurs des systèmes de transports, développeurs des territoires et protecteurs de l'environnement par une approche systémique et intégrée.

Enjeux

La ville constitue un système complexe en raison de la multiplicité des activités et des acteurs (économiques, sociaux, institutionnels, etc.) qui la peuplent et de la diversité de leurs interactions. La modélisation des systèmes techniques et naturels qui l'occupent, l'analyse critique des jeux d'acteurs, la régulation économique et institutionnelle des activités sont autant de compétences nécessaires à l'ingénieur pour inscrire les territoires dans une logique de développement durable.

L'évolution des contextes de la gouvernance (décentralisation, démocratie à réinventer), les révolutions apportées par le numérique dans la mobilité ou le commerce, les défis environnementaux, tant à l'échelle globale que locale et l'urbanisation croissante d'une population mondiale dynamique sont autant de défis qui impliquent une expertise sur une ou plusieurs composantes du système urbain afin de mettre en place les méthodologies et actions adaptées pour créer et gérer les espaces urbains et les flux associés et, ainsi, participer au bon fonctionnement des activités de la ville, à leur développement et à leur désirabilité.

Le département s'appuie sur une formation alliant des réflexions théoriques à des projets plus opérationnels permettant le développement de compétences de gestion de projet indispensables pour concevoir, construire et gérer des systèmes urbains.

Formation

La formation du département Ville, environnement, transport s'organise autour de trois parcours correspondant aux principales composantes des systèmes urbains :

- Aménagement ;
- Transport ;
- Environnement.

En dernière année, les élèves-ingénieurs peuvent suivre une troisième année classique, un master de l'École ou un parcours alternatif via la voie d'approfondissement qui allie l'aspect opérationnel, avec un projet mené en petit groupe sur une commande réelle, et des connaissances théoriques dispensées lors de cours *ad hoc* permettant de mener à bien ce projet.

Métiers

Le département forme des ingénieurs aux métiers de la conception et de l'exploitation des systèmes urbains et de transport, ainsi qu'aux métiers de l'énergie et de l'environnement. Les débouchés sont variés dans le secteur public (État, établissements publics, collectivités territoriales) et dans le secteur privé, au sein de grands groupes industriels ou de bureaux d'études.



Écoquartier Parc Marianne à Montpellier © Arnaud Bouissou - Terra.



Pierre Sallenave
Président
Department Head



Cécilia Cruz
Responsable
académique
Academic Head



Damien Tedoldi
Responsable
académique
Academic Head



Lucile Gindre
Inspectrice des
études
Academic Advisor



Catherine Charleux
Assistante
polyvalente
Department Assistant

The City, Environment, Transportation department trains engineers who design transportation systems, develop regional planning and protect the environment through a systemic and integrated approach.

Challenges

The city is a complex system due to the multiplicity of activities and actors (economic, social, institutional...) that populate it and the diversity of their interactions. Modelling of the technical and natural systems that occupy it, critical analysis of the interplay of actors, economic and institutional regulation of activities are all necessary skills for the engineer to integrate regional planning into a sustainable development logic.

The evolution of the contexts of governance (decentralization, new challenges for democracy), the revolutions brought about by digital technology in mobility or trade, environmental challenges, both on a global and local scale, the growing urbanisation of a dynamic world population are all challenges that require expertise on one or more components of the urban system. This allows engineers to implement appropriate methodologies and actions to create and manage urban spaces and related flows and, thus, participate in the smooth functioning of the city, its development and its desirability.

The department relies on training that combines theoretical reflections with more operational projects allowing the development of project management skills that are essential for designing, building and managing urban systems.



Rame de TGV Atlantique circulant en Eure-et-Loir © Arnaud Bouissou – Terra

Curriculum

The City, Environment, Transportation Department's program offers three options corresponding to the main components of urban systems:

- Urban planning;
- Transportation;
- Environment.

In their final year, student engineers can follow a standard engineering master's degree, obtain in parallel an additional master's degree from the School or choose to do an alternative course via the in-depth study path, which combines the operational aspect, with a project carried out in a small group based on real professional requests, and theoretical knowledge via relevant courses for the project.

Employment prospects

The department trains engineers in the design and operation of urban and transport systems, as well as in energy and environmental issues. The opportunities are varied in the public sector (State, public institutions, local authorities) and in the private sector, within large industrial groups or design offices.

Laboratoires partenaires et chaires

Research partnerships and chairs

Laboratoires • Laboratories



CEREA

Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique. Thématiques : qualité de l'air, dispersion et transports de polluants, modélisation atmosphérique à l'échelle urbaine et régionale, assimilation de données.

Atmospheric Environment Education and Research Center. Themes: air quality, pollution dispersal and transportation, atmospheric modeling on an urban and regional scale, data assimilation.



CIRED

Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement. Thématiques : économie du développement et de l'environnement, questions énergie / déchets / transports / eau / alimentation, enjeux d'environnement global, principe de précaution, modélisation.

International Environment and Development Research Center. Themes: development and environmental economics, energy/waste/transportation/water/food issues, global environmental challenges, precautionary principle, modeling.



LATTS

Laboratoire Techniques, Territoires et Sociétés. Thématiques : sciences sociales, aménagement, histoire, dialogue entre sciences sociales et technique et ingénierie, dans les entreprises comme dans les administrations. Deux grands domaines abordés : organisations productives et organisations territoriales.

Technologies, Territories, and Societies Laboratory. Themes: social sciences, spatial planning, history, dialogue between social sciences and technology and engineering, in both private sector companies and the public sector. Two major domains tackled: productive organizations and territorial organizations.



LEESU

Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes urbains. Thématiques : milieu urbain et son environnement, analyse des territoires urbains et périurbains au travers de leur fonctionnement sociotechnique et environnemental en liaison avec les territoires ruraux avec lesquels ils sont en interaction.

Water, Environment, and Urban Systems Laboratory.



LVMT

Laboratoire Ville, Mobilité, Transport. Thématiques : analyse et la modélisation des interactions entre transports et aménagement de l'espace.

City, Mobility, Transportation Laboratory. Themes: analysis and modeling of interactions between transportation and spatial planning.

Chaires • Chairs

Chaire Éco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures • The Eco-design of buildings and infrastructures Chair - VINCI

Cette chaire en partenariat avec Vinci aborde la durabilité des villes à travers les questions de la mobilité et des infrastructures de transport, des quartiers et des bâtiments, en étudiant leurs impacts environnementaux (analyse du cycle de vie), économiques et sociaux (évaluation socio-économique, évaluation holistique).

This chair in partnership with Vinci looks at urban sustainability through issues of mobility and transport infrastructure, city districts and buildings, studying their environmental impacts (life-cycle analysis), as well as economic and social impacts (socio-economic and holistic evaluations).

Les projets de fin d'études

Final Year Projects

Appels d'offres, financement de projets d'infrastructures •

Tenders, Infrastructure Project Finance

BEL-HOUARI INASS | Enjeux de la réalisation des infrastructures aéroportuaires

Challenges in the development of airport infrastructures

OSSOINAK KLICH IVAN | Comment modéliser la demande à partir des élasticités d'un réseau de transport ?

Demand modellings through the transport network's elasticities

Énergies • Energies

DUFRESNOY MARC | Quel « bon » tarif pour le système électrique français ? Jeu d'acteurs autour du TURPE

Which "good" tariff for the French electricity system? Game of actors around pricing

Environnement, développement durable •

Environment, Sustainable Development

BUTTERA GIULIANO | Les microplastiques : quel comportement dans les usines d'eau potable ?

Microplastics

GAUTHIER LUCAS | Valorisation biologique circulaire et locale des déchets alimentaires de la ville

Circular, local and organic recycling of bio-waste in cities

MAILLARD JULIA | Caractérisation de la variabilité de la couche limite arctique

Characterisation of the Arctic boundary layer variability

ROULIER LORRAINE | Finance durable : l'importance des investissements de petite taille

Sustainable finance: the part played by small investments

Gestion de l'eau • Water Management

LI CHENLU | Modélisation hydrologique et évaluation des impacts des rejets pluviaux sur le lac urbain

Hydrological modeling and evaluation of the impacts of stormwater discharges on urban lakes

ZHOU CHANGYUYI | Pollution de l'eau dans le bassin du lac Taihu en Chine : sources et mesures

Water pollution in Taihu Lake basin in China: sources and measures

Transports et logistique •

Transportation and Logistics

BELLERA ARBOS CLARA | Par quels moyens les collectivités peuvent-elles promouvoir une mobilité plus durable ?

How can municipalities promote a more sustainable mobility?

DO COUTO RODRIGUES GABRIEL AFONSO | La supply chain et le paradigme des flux dans l'industrie de la construction : une étude de cas sur le chantier de Roland Garros

Supply chain and flow paradigm in the construction industry: a case study on the Roland Garros modernization project

GUIMERA TENA JAVIER | Pertinence du Transport à la Demande (TAD) dans le milieu rural

Relevance of Demand Responsive Transport (DRT) in rural areas

HANNOUCHE ANIS | Étude de réalisation d'une plateforme logistique dans un pays du golfe Persique

Implementation study of a logistic platform in the GCC

KUMAKOSHI YUSUKE | Étude d'impact des véhicules autonomes partagés sur la demande de parking dans la ville

An impact study of shared autonomous vehicles on parking demand in urban areas

OKUNOWSKI MARION | Gérer un complexe ferroviaire : la planification des mouvements techniques du Produit Train

Managing a railway complex: planning shunting movements

SÁNCHEZ D'OCÓN IGNACIO | Propositions d'amélioration du réseau de transport en commun métropolitain à Valence

Proposals to improve the metropolitan public transport network in Valencia

VEGLIO SALIMBENI RODRIGO EMANUEL | L'impact de la régulation économique des aéroports sur leur valorisation

The impact of economic regulation on the value of airport assets



Inass BEL-HOUARI

Élève ingénieure double diplôme
École Hassania des travaux publics (EHTP), Casablanca, Maroc

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à :
Vinci Airports

Tutrice professionnelle • *Organization Tutor* :
Nathalie RICARD, chef de projet MOA

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Laurent TERRAL, chercheur, LVMT, École des Ponts ParisTech



Enjeux de la réalisation des infrastructures aéroportuaires

Master Plan • Aérogare • Dimensionnement • Programme fonctionnel

Contexte

Pour accompagner la croissance du nombre de passagers dans les aéroports, les concessionnaires aéroportuaires anticipent et optimisent les investissements et les extensions des infrastructures grâce à l'utilisation d'outils de planification avancés (*masters plans*). Pour ce faire, les équipes ont recours à des paramètres de dimensionnement qui reflètent le modèle opérationnel de l'aéroport. Ces choix stratégiques aboutissent à la préparation du programme fonctionnel qui spécifie au constructeur les exigences quantitatives et qualitatives des investissements à réaliser.

Ainsi, face à la croissance du trafic, au durcissement du contexte sécuritaire ou à l'évolution des attentes des passagers, comment les concessionnaires peuvent-ils planifier et construire des aérogares qui puissent satisfaire les exigences des passagers et des compagnies aériennes ?

Missions et objectifs

Pour répondre à cette question, ma mission pendant ces six mois s'est organisée autour de deux volets :

- l'analyse et la rationalisation des paramètres de dimensionnement des aérogares utilisés en phase de Master Plan ;
- l'amélioration d'un programme fonctionnel d'aérogare.

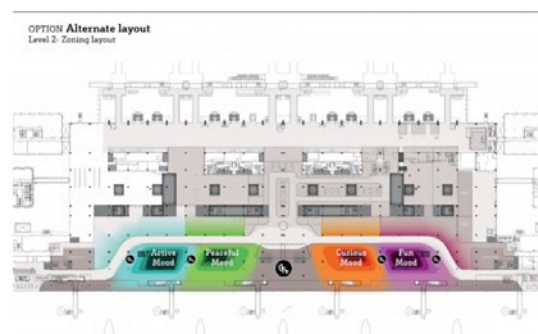
Résumé

L'objectif du premier volet de ce projet de fin d'études était de produire un outil de *benchmark* où l'on pourrait trouver tous les paramètres de dimensionnement précédemment utilisés pour les aéroports du réseau. Un registre de modèles opérationnels a également été rédigé.

L'analyse du modèle opérationnel d'un *hub* européen a été détaillée pour illustrer l'importance de l'outil. En effet, chaque aéroport étant unique, il faut obligatoirement se référer aux registres des modèles opérationnels pour évaluer à quel point il serait possible de maintenir le niveau de service escompté en utilisant un paramètre donné.

Le deuxième volet portait sur l'amélioration d'un programme fonctionnel du terminal. Ce document est d'une importance primordiale puisque c'est grâce à celui-ci que l'on peut garantir la qualité du bâtiment. Une attention particulière doit être portée à l'organisation des locaux pour garantir une bonne expérience passager et ainsi mieux rentabiliser le *business model* de l'aéroport.

La bonne utilisation de ces deux outils produits permet à Vinci Airports, en tant que concessionnaire d'aéroports, de construire des aérogares où l'on crée des conditions favorables au développement de l'activité des transporteurs aériens.



Design by mood © Inass Bel-Houari.

Challenges in the development of airport infrastructures

Master Plan • Passenger Terminal • Design • Functional brief

Context

In order to cater for future traffic growth, Vinci Airports as an airport concessionaire, anticipates, and optimizes the investments and extensions of infrastructures through the use of advanced planning tools (Master Plans).

To carry out this exercise, the technical teams use planning parameters that reflect the actual and future operating model of the airport.

Once these strategic choices are confirmed, the requirements of the passenger terminal building are compiled in the functional brief.

Therefore, with this growth in traffic, the tightening of the security context or the evolving passenger expectations, how can airport concessionaires ensure they plan and construct Passenger Terminal Buildings that meet the needs of the airlines and passengers?

Missions and goals

To answer this question, I carried out two missions:

- analysis of the planning parameters of the passenger terminal buildings used in the Master Plans;
- review and improvement of the current Functional Brief of the terminal building based on Vinci past experiences, international guidelines and industry standards.

Abstract

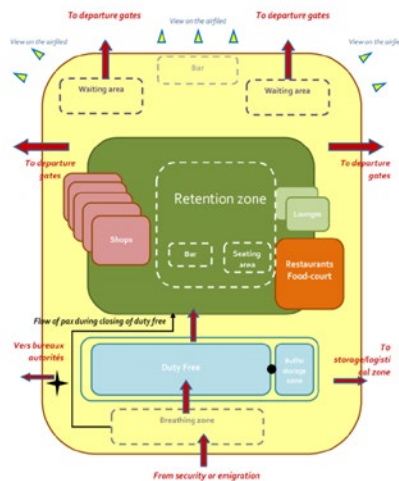
The objective of the first part of the study was to produce a benchmark tool where we could find all the planning parameters previously used for the airports in the network. Also, a register of operational models has been drafted.

The analysis of the operational model of a European hub has been detailed to illustrate the impor-

tance of the tool. Indeed, each airport is unique and thus it is mandatory to refer to the register of the operational models to assess to what extent it would be possible to maintain the level of service expected by using a given parameter.

In the second part of the study, I focused on improving the functional brief of the terminal building. This document is of paramount importance since it helps the teams to monitor the quality of the building that is under construction. Particular attention must be given to the organization of the different areas in order to guarantee a good passenger experience and thus make the airport business model more profitable.

Thus, the good use of these two tools allows Vinci Airports to build terminals where there are favorable conditions for the development of the activity of air carriers.



Organisation de la zone commerciale © Inass Bel-Houari.

• Aménagement et urbanisme
• Regional and Urban Planning

• Appels d'offres, financement de projets d'infrastructures
• Tenders, Infrastructure Project Finance

• Énergies
• Energies

• Environnement, développement durable
• Environment, Sustainable Development

• Gestion de l'eau
• Water Management

• Transports et logistique
• Transportation and Logistics

Éléments de bibliographie

IATA-International Air Transport, 2019. *Airport development reference manual*. 11e édition. Montreal, Canada. *Functional Requirements*, 2017. Matt MacDonald.

AC 150/5070-6B - *Airport Master Plans*. APP-400. Office of Airport Planning & Programming, Planning & Environmental Division.



Ivan OSSOINAK KLICH

Élève ingénieur double diplôme
Facultad de Ingenieria, université de Buenos Aires, Argentine

Promotion 2018

Mission en entreprise réalisée à
RATP Dev

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Diogo DA SILVA, chef de projet

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Marie KRIER, responsable académique du département Ville, environnement,
transport, École des Ponts ParisTech



Comment modéliser la demande à partir des élasticités d'un réseau de transport ?

Élasticité • Modélisation • Transport • Demande • Fréquentation • Métro • Subte

Contexte

Les systèmes de transport collectif sont un des piliers des économies urbaines, c'est pourquoi leur bon fonctionnement est d'une importance capitale pour l'autorité organisatrice des transports et l'exploitant qui est rémunéré pour son service. Il est essentiel que les opérateurs et les autorités connaissent la demande afin de pouvoir prévoir les recettes, l'offre (si possible) et identifier les besoins du réseau.

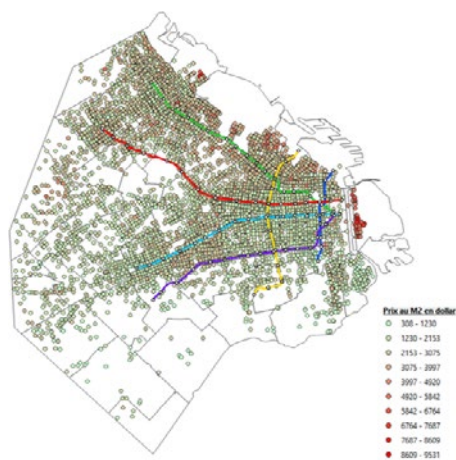
Missions et objectifs

Dans ce travail, nous montrerons les différents facteurs qui peuvent influencer sur la demande d'un réseau de transport et ses élasticités. Connaissant ces sensibilités, il est possible de prendre différentes hypothèses pour projeter la demande au fil du temps. Le cas d'étude est le réseau de métro de Buenos Aires qui a fait l'objet de nombreuses augmentations tarifaires au cours des 25 dernières années (ce travail est limité aux années 2012 à 2017) et sa demande est projetée pour les années 2019 et 2020.

Résumé

Une brève synthèse des systèmes de transport locaux est effectuée, sont analysées différentes variables qui influencent la demande (offre de métro en ckc, prix du métro, prix des services de remplacement, prix d'un litre de l'essence, inflation, l'indicateur de confort dans le service de substitution, le niveau d'activité économique, le salaire minimum) et ses variations qui expliquent la demande à travers une régression linéaire. Les coefficients (dérivées partielles) de la régression sont, dans ce cas, les

élasticités de la demande par rapport à cette variable. L'inélasticité de la demande se manifeste par rapport au prix avec une élasticité de $-0,132$, c'est-à-dire une augmentation de 10% du titre de transport diminue de 1,32% la demande. Enfin, connaissant ces sensibilités, une projection de la demande est réalisée pour les années 2018 et 2019. Même si le modèle a ses limites, il est suffisamment précis pour comprendre les tendances de la demande et en obtenir une valeur conservatrice. Cette méthodologie pourrait s'appliquer à d'autres réseaux de transport tant que les données sont disponibles pour le faire.



Carte du prix du foncier et le réseau de métro de Buenos Aires © Ivan Ossoinak, 2018. Fonds de carte : données ouvertes issues des communes de la ville de Buenos Aires, disponibles sur : <https://data.buenosaires.gov.ar/dataset/comunas>.

Demand modellings through the transport network's elasticities

Modelling • Transport • Demand • Ridership • Subway • Subte

Context

Collective transport systems are a central focus in urban economies, which is why their proper functioning is of paramount importance to the competent authority and the operator who profits from it. It is essential for operators and authorities to know the demand in order to be able to forecast revenue, size supply (if possible) and identify needs in the network.

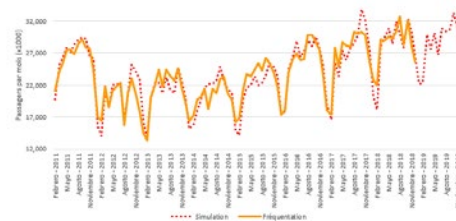
Missions and goals

This work will identify different factors that influence the demand of a transport network and the sensitivity of demand to variations in these factors. Knowing these sensitivities one can take different hypotheses to project demand over time. The Buenos Aires metro network, that has been the subject of numerous tariff increases over the past 25 years, is our case study (this work will be limited to the years 2012 to 2017) and its demand will be projected for the years 2019 and 2020.

Abstract

A brief summary of local transport systems is carried out, different variables are analyzed that influence demand (metro supply in car-km, subway price, price of substitution service, gas'

prices, inflation, comfort indicator in the substitution service, level of economic activity, minimum wage) and its variations that explain the demand by means of a linear regression. The coefficients (partial derivatives) of the regression are, in this case, the elasticities of the demand relative to that variable. Demand-price inelasticity is shown in relation to price with an elasticity of -0.132 , i.e. for a 10% increase in the price, demand decreases by 1.32%. Finally, knowing the sensitivities, a projection of the demand is carried out for the years 2018 and 2019. While the model has its limitations it is accurate enough to understand demand trends and obtain a conservative value from it. This methodology could be applicable to other transport networks as long as the data is available to do so.



Projection de la demande de métro à Buenos Aires pour les années 2018 et 2019 © Ivan Ossoinak, 2018.

Éléments de bibliographie

LITMAN, Todd, 2004. Transit Price Elasticities and Cross - Elasticities. *Journal of Public Transportation*, 2004, vol. 7, n° 2. DOI 10.5038/2375-0901.7.2.3.

• Aménagement et
• urbanisme
• Regional and Urban
• Planning

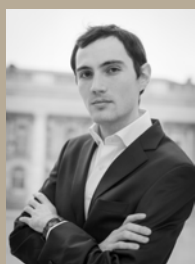
• Appels d'offres,
• financement
• de projets
• d'infrastructures
• Tenders, Infrastructure
• Project Finance

• Énergies
• Energies

• Environnement,
• développement
• durable
• Environment,
• Sustainable
• Development

• Gestion de l'eau
• Water Management

• Transports et
• logistique
• Transportation and
• Logistics



Marc DUFRESNOY

Ingénieur élève du corps des IPEF
 Maître spécialisé® Politiques et actions publiques pour
 le développement durable, École des Ponts ParisTech et AgroParisTech

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
 RTE

Tutrices professionnelles • *Organization Tutors* :
 Gersende CHAFFARDON et Sandrine BORTOLOTTI, chargées d'études R&D

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
 François-Mathieu POUPEAU, chercheur, LATTS,
 École des Ponts ParisTech



Quel « bon » tarif pour le système électrique français ?

Jeu d'acteurs autour du TURPE

Électricité • Réseau • Tarification • TURPE

Contexte

Gestionnaire du réseau public de transport de l'électricité, RTE est un acteur du système électrique indépendant qui assume des missions confiées par la loi. Elles comprennent notamment la desserte de l'ensemble du territoire, la qualité et la continuité de l'alimentation, et donc l'équilibrage des injections et soutirages sur le réseau. Suite à l'ouverture à la concurrence voulue par l'Europe et finalisée en 2007, le quasi-monopole d'EDF sur le secteur français a été brisé, et deux opérateurs de réseaux, monopoles naturels, ont vu le jour. Leurs services et l'accès au réseau sont rémunérés par le TURPE (Tarif d'Utilisation des Réseaux Publics d'Électricité) : comme pour son homologue Enedis (réseau de distribution) plus de 90% des recettes de RTE proviennent du TURPE.

Le contexte actuel est marqué par la transition énergétique, une évolution des usages de l'énergie et des possibilités pour le réseau. Dans ce cadre, quels types de rationalités une politique publique telle que la tarification de l'électricité doit-elle prendre en compte ?

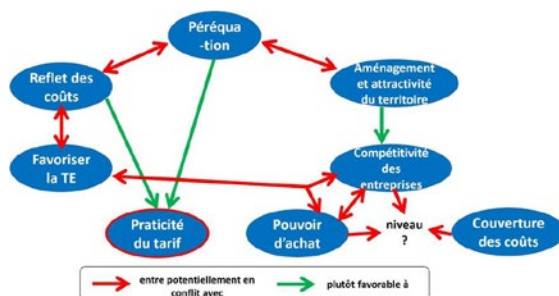
Missions et objectifs

- Produire une cartographie des positions et sensibilités des acteurs du système électrique français vis-à-vis de différentes questions impliquant la tarification, afin de préciser l'environnement institutionnel dans lequel évolue RTE ;
- rassembler les pistes de réflexions et les besoins des acteurs par rapport au TURPE, pour nourrir les travaux de prospective tarifaire de la R&D de RTE.

Résumé

La première phase de la mission est consacrée à une revue de littérature identifiant les enjeux de la tarification. La deuxième phase, étayée par un ouvrage de sciences sociales, comporte la préparation d'un guide, support des entretiens semi-directifs auprès des acteurs du secteur, ainsi que la réalisation des entretiens (une vingtaine) et de leurs comptes-rendus.

Parmi les sujets prioritaires, on peut distinguer des thématiques communes. La couverture et le reflet des coûts sont ainsi la préoccupation première des acteurs, qui tiennent aussi beaucoup à ce que la tarification s'inscrive dans un objectif de justice sociale. L'efficacité économique de RTE et la praticité des tarifs sont ensuite exigées, devant la faculté de permettre ou d'accélérer la transition énergétique. La compétitivité des entreprises n'apparaît pas comme une préoccupation forte pour la plupart des acteurs interrogés.



Quelques hypothèses entre les concepts conservés pour le guide d'entretien. Le concept de praticité (stabilité, prévisibilité, progressivité et complexité du tarif) peut rentrer en conflit avec la plupart des autres © Marc Dufresnoy, 2019.

Which "good" tariff for the French electricity system?

Game of actors around pricing

Electricity • Pricing • Network • TURPE

Context

RTE is the operator of the public power transmission system, an independent player in the power system that carries out missions entrusted by law. These include, in particular, serving the whole territory, ensuring the quality and continuity of supply, and therefore balancing injections and extractions on the network. Following the opening up to competition, as required by European law and finalized in 2007, EDF's virtual monopoly in the French sector was broken. The network is a natural monopoly, and two operators were created to manage it. Their services and access to the network are paid for by the TURPE: as with its counterpart Ene-dis (distribution network), more than 90% of RTE's revenue comes from the TURPE.

Currently, the energy transition and a change in energy uses and possibilities for the network are occurring. In this context, what kind of rationalities should a public policy such as electricity pricing take into account?

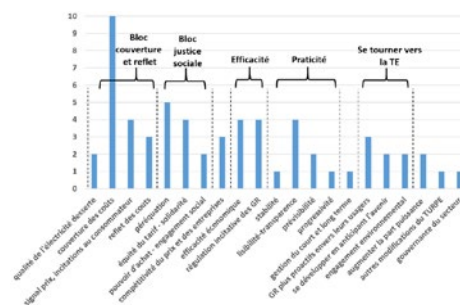
Missions and goals

- To produce a mapping of the positions and sensitivities of the players in the French power system with regard to various issues involving pricing, in order to specify the institutional environment in which RTE operates;
- to gather the avenues for reflection and the needs of the players in relation to the TURPE, in order to provide input for RTE's R&D tariff forecasting work.

Abstract

The first phase of the mission is a review of the literature identifying pricing issues. The second phase, supported by a social science book, includes the preparation of a guide to support semi-directive interviews with the actors in the sector, conducting the interviews (about twenty) and their reports.

Among the topics prioritized, common themes can be distinguished. Coverage and reflection of costs are the primary concern of the actors, who are also keen to ensure that pricing is in line with the objective of social justice. The economic efficiency of network operators and the practicality of tariffs are then demanded, before allowing or accelerating the energy transition. Competitiveness of companies does not appear to be a strong concern for most actors.



Priorités citées en conclusion du questionnaire sur les principes et les fonctions que devrait porter la tarification de l'électricité. L'efficacité économique comprend la maîtrise des coûts des gestionnaires de réseau (GR) © Marc Dufresnoy, 2019.

- Aménagement et urbanisme
- Regional and Urban Planning
- Appels d'offres, financement de projets d'infrastructures
- Tenders, Infrastructure Project Finance
- **Énergies**
- **Energies**
- Environnement, développement durable
- Environment, Sustainable Development
- Gestion de l'eau
- Water Management
- Transports et logistique
- Transportation and Logistics

Éléments de bibliographie

QUIVY, Raymond et CAMPENHOUDT, Luc van, 2009. *Manuel de recherche en sciences sociales*. 3^e édition. Paris : Dunod, 256 p.

VALTER, Clotilde, 2015. *Rapport fait au nom de la commission d'enquête sur les tarifs de l'électricité* len lignel. Assemblée nationale - commission d'enquête sur les tarifs de l'électricité. Disponible à l'adresse : <http://www.assemblee-nationale.fr/14/rap-enq/r2618.asp>



Giuliano BUTTERA

Élève ingénieur double diplôme
Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentine

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Veolia Recherche & Innovation

Tutrice professionnelle • *Organization Tutor* :
Lauriane BARRITAUD, ingénieure de recherche

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Bruno TASSIN, chercheur, LEESU, École des Ponts ParisTech



Les microplastiques

Quel comportement dans les usines d'eau potable ?

Microplastique • Eau potable • Traitement • Polluant

Contexte

Un article de presse confirmant la présence des microplastiques dans l'eau potable est publié en 2017. Les scientifiques mais aussi les distributeurs d'eau potable s'intéressent à cette problématique et plus précisément aux performances d'abattement à chaque étape de la potabilisation et aux innovations techniques à réaliser afin d'éliminer ces particules.

Missions et objectifs

Les questions qui sont traitées, en lien avec la problématique de base sont les suivantes :

- quelles sont les performances de traitement pour les procédés unitaires ?
- quels mécanismes sont mis en jeu ?
- quelles sont les caractéristiques morphologiques des microplastiques éliminés ou rémanents ?

Résumé

Des études scientifiques ont identifié des microplastiques dans les eaux de surface et dans l'eau potable. Il n'existe cependant pas de méthode standardisée pour identifier et quantifier ces particules. Ainsi, les résultats sont très variables d'une étude à l'autre et difficiles à comparer. Le comportement des microplastiques au cours des procédés de potabilisation est actuellement inconnu. Par conséquent, les fournisseurs d'eau potable doivent obtenir des données plus précises sur l'élimination des microplastiques au cours des différentes étapes du traitement et identifier, si besoin, les innovations à réaliser pour les éliminer.

L'objectif de ce projet de fin d'études est de comprendre le comportement des microplastiques dans deux étapes d'une usine de production d'eau potable : coagulation-floculation et filtration granulaire à travers des essais à l'échelle laboratoire. Cela est réalisé par l'observation visuelle et microscopique, et la quantification des microplastiques avant et après le traitement.

Pour répondre à la problématique, une recherche bibliographique est effectuée, des essais de laboratoire sont réalisés et les résultats sont discutés. Les résultats des essais de traitement démontrent, d'une part, que certains microplastiques étudiés sont abattus à l'étape de coagulation-floculation, avec un abattement supérieur à 50%, et d'autre part, que les mêmes microplastiques sont aussi abattus à l'étape de filtration granulaire.

Cette étude a donc montré que les deux premiers procédés de traitement utilisés dans les usines éliminent partiellement ces particules. Des recherches supplémentaires doivent être réalisées avec différents plastiques et des mélanges de plastiques. Les caractéristiques de chaque procédé analysé doivent être optimisées pour parvenir à un abattement plus élevé des microplastiques tout en maintenant les performances d'abattement pour les paramètres réglementés.

Microplastics

Microplastics • Drinking water • Treatment • Pollutant

Context

A press article confirming the presence of microplastics in drinking water was published in 2017. Scientists but also drinking water distributors are interested in this problem and more precisely in the removal efficiency at each stage of the potabilisation process and in the technical innovations to be carried out in order to eliminate these particles.

Missions and goals

The questions that are studied in this project are:

- what are the removal efficiency for each unit process?
- what mechanisms play an important role?
- what are the morphologic characteristics of removed and residual microplastics?

Abstract

Scientific studies have identified microplastics in surface waters and drinking water. However, there is no standardized method to identify and quantify these particles, so the results are highly variable from one study to another and difficult to compare. The behavior of microplastics during the production of drinking water is currently unknown. Therefore, the drinking water suppliers must

obtain accurate data on microplastics removal during the different treatment processes and, if necessary, find new ways to remove these.

The purpose of this final year project is to understand the behavior of microplastics in the first two unit processes of a drinking water treatment plant: coagulation-flocculation and granular filtration by laboratory testing. This includes visual and microscopic observation and quantification of microplastics before and after the treatment.

To handle this research problem, a bibliographic research is done, laboratory tests are conducted, and the results are discussed. A preparation protocol of a sample containing microplastics is developed to achieve high representativeness. The treatment results demonstrate, on one hand, that the studied microplastics are eliminated in the coagulation-flocculation process, with a removal efficiency higher than 50% for certain microplastics, and on the other hand, that microplastics are also eliminated in the granular filtration process.

Based on these findings, the first two treatment processes of a drinking water treatment plant partially remove these particles. Further research studies must be conducted with different plastics and plastic mixtures. The characteristics of the treatment processes must be optimized to achieve the best microplastics removal efficiency keeping the removal performances of the regulated parameters constant.

Éléments de bibliographie

CRITTENDEN, John C. et MWH (éd.), 2005. *Water treatment principles and design*. 2^e édition. Hoboken : Wiley, 1948 p.
MA, Baiwen, XUE, Wenjing, DING, Yanyan, HU, Chengzhi, LIU, Huijuan et QU, Jiahui, 2019. Removal characteristics of microplastics by Fe-based coagulants during drinking water treatment. *Journal of Environmental Sciences*, 2019, vol. 78, p. 267-275. DOI 10.1016/j.jes.2018.10.006.

WAGNER, Martin (éd.), SCOTT, Lambert (éd.), 2017. *Freshwater microplastics: emerging environmental contaminants?* Cham, Suisse : Springer Open.

• Aménagement et
• urbanisme
• Regional and Urban
• Planning

• Appels d'offres,
• financement
• de projets
• d'infrastructures
• Tenders, Infrastructure
• Project Finance

• Énergies
• Energies

• Environnement,
• développement
• durable
• Environment,
• Sustainable
• Development

• Gestion de l'eau
• Water Management

• Transports et
• logistique
• Transportation and
• Logistics



Lucas GAUTHIER

Élève ingénieur concours commun
Institut royal de technologie (KTH), Stockholm, Suède

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
Les Alchimistes

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Fabien-Kenzo SATO, directeur général

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Bruno TASSIN, enseignant, École des Ponts ParisTech



École des Ponts
ParisTech

Valorisation biologique circulaire et locale des déchets alimentaires de la ville



Compostage • Biodéchets • Valorisation biologique •
Étude technico-économique • Bilan environnemental

Contexte

Au cœur du marché en plein essor de la collecte et de la valorisation des déchets alimentaires, les Alchimistes prennent le contrepied des solutions « classiques » en proposant une valorisation biologique, locale et circulaire. En promouvant la technologie du compostage électromécanique, les Alchimistes souhaitent relocaliser le traitement des biodéchets au cœur des milieux urbains en créant des emplois et en participant à la végétalisation de la ville. « Boucler la boucle » de la matière organique : telle est l'ambition de ce modèle innovant.

Missions et objectifs

Si leurs expérimentations précédentes ont prouvé la faisabilité technique du concept, le passage à une « taille commerciale » avec l'ouverture de leur toute nouvelle plateforme de Lil'O – d'une capacité de 730 tonnes/an – est déterminant pour valider définitivement leur solution. Se pose alors la question de la faisabilité technique, de la viabilité économique et de l'impact environnemental de leur modèle. L'objectif de mon projet de fin d'études a donc consisté à réaliser le tout premier bilan technique, économique et environnemental du modèle des Alchimistes.

Résumé

Après 6 mois de fonctionnement de Lil'O, mon étude a permis de mettre en évidence les premiers éléments de réponse. Sur le plan technique, la bonne montée en charge de la plateforme démontre que l'objectif de valorisation de 2 tonnes de biodéchets par jour est possible. Sur le plan économique, une première étude des charges annuelles de fonctionnement dresse un bilan positif et encourageant quant à la viabilité et la compétitivité du modèle. Enfin sur le plan environnemental, si les engagements et les objectifs environnementaux sont clairement identifiés, le manque de données exploitables est encore un obstacle à la réalisation d'un bilan quantitatif complet. Néanmoins, l'impact positif du compost sur la qualité des sols et leur capacité à séquestrer plus de carbone en fait un levier important de la lutte contre le changement climatique.



Vue d'ensemble de la plateforme de compostage micro-industrielle des Alchimistes à Lil'O © Lucas Gauthier, 2019.

Circular, local and organic recycling of bio-waste in cities

Composting • Bio-waste • Organic Recycling •
Technico-economic analysis • Environmental performance.

Context

In the growing market of bio-waste collection and treatment, Les Alchimistes take the opposite to "classic" solutions by offering a biological, local and circular recycling. Using the electromechanical composting technology, Les Alchimistes wish to relocate the treatment of bio-waste in the heart of urban environments by creating jobs and participating in making the city greener. "Closing the loop" of organic material: such is the ambition of this innovative model.

Missions and goals

While the previous experiments of Les Alchimistes have proven the technical feasibility of their concept, they have moved to "commercial size" with the opening of their new platform - Lil'O - with a capacity of 600 tons/year. This scale-up is crucial to definitively validating their solution. But it raises the question of the technical feasibility, economic viability and environmental impact of their model. My objective consisted of producing the very first complete assessment of the Les Alchimistes business model.

Abstract

After 6 months of operation, my study highlights the first answers. Technically speaking, the regular increase of the quantities daily treated shows that the objective of treating 2 tons of bio-waste per day is possible. Economically speaking, an initial study of annual operating costs provides a positive and encouraging assessment of the model's viability and competitiveness. Finally, environmentally speaking, although the environmental commitments and objectives are clearly identified, the lack of suitable data is an obstacle to the achievement of a complete quantitative assessment. Nonetheless, the positive impact of compost on soil quality and its capacity to capture carbon emissions, is a crucial lever to mitigate climate change.



Chaîne de pré-traitement des biodéchets (tri, broyage, pressage, ajout du structurant), avant compostage © Lucas Gauthier, 2019.

• Aménagement et
• urbanisme
• Regional and Urban
• Planning

• Appels d'offres,
• financement
• de projets
• d'infrastructures
• Tenders, Infrastructure
• Project Finance

• Énergies
• Energies

• Environnement,
• développement
• durable
• Environment,
• Sustainable
• Development

• Gestion de l'eau
• Water Management

• Transports et
• logistique
• Transportation and
• Logistics

Éléments de bibliographie

THAUVIN, P. et VERNIER, A., 2013. *Réduire, trier et valoriser les biodéchets des gros producteurs : guide pratique* [en ligne]. ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. [Consulté le 19 février 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ademe.fr/reduire-trier-valoriser-biodechets-gros-producteurs-guide-pratique>.

Les biodéchets : les installations de traitement des biodéchets au 01.06.2016 en Île-de-France [en ligne]. Paris, 2016. ORDIF. [Consulté le 19 février 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.ordif.com/sites/ordif/files/document/publication/note_biodechets_-_chiffres_juin_2016.pdf.

Marin Carbon Project [site web], 2018. [Consulté le 19 février 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.marincarbonproject.org/>.



Julia MAILLARD

Élève ingénieure ENS

Promotion 2018

Début de doctorat réalisé à
LATMOS (Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales)

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
François RAVETTA, enseignant-chercheur

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Bertrand CARISSIMO, chercheur, CERE, École des Ponts ParisTech



Caractérisation de la variabilité de la couche limite arctique

Nuages • Arctique • Bilan radiatif

Contexte

Bien plus que le reste de la planète, l'Arctique est actuellement le siège de changements rapides liés au réchauffement climatique. L'étude du climat et de la dynamique de la basse troposphère arctique est cependant compliquée par le peu de mesures disponibles aux très hautes latitudes.

Missions et objectifs

Ce projet de fin d'études avait donc pour but d'établir des statistiques à partir des données originales de campagnes menées depuis 2014 par le LATMOS et le LOCEAN, ce qui permettra de mieux caractériser la basse troposphère arctique, en particulier en ce qui concerne les nuages.

Résumé

L'Arctique est une région-clé du changement climatique : elle se réchauffe actuellement environ deux fois plus vite que le reste de la planète. Cependant, la rareté des observations à très haute latitude fait que certains processus de sa basse troposphère sont encore mal compris. En particulier, une forte incertitude demeure sur le rôle des nuages dans le réchauffement de l'Arctique, et leur représentation est très variable selon les modèles.

Pendant ce projet de fin d'études, j'ai traité et analysé les données originales de LIDAR embarqués sur des bouées qui sont prises dans la banquise et dérivent avec celle-ci. Ces bouées sont déployées régulièrement dans l'océan Arctique depuis 2014 dans le cadre de la campagne « IAOOS » (*Ice - Atmosphere - Arctic Ocean Observing System*), menée conjointement par le LATMOS et le LOCEAN. Cela m'a permis de dresser des statistiques de la fréquence et de l'épaisseur optique des nuages arctiques. Celles-ci complètent et appuient les études existantes, qui sont basées sur des données satellites, dans les tendances générales, mais elles en diffèrent quantitativement.

Characterisation of the Arctic boundary layer variability

Clouds • Arctic • Radiative budget

Context

The Arctic is a particularly active region of climate change, and is warming at around twice the rate of the lower latitudes. The study of the climate and dynamics of the Arctic boundary layer is however complicated due to the lack of measurements at very high latitudes (above 80°N).

Missions and goals

The goal of this final year project was to treat the data of the IAOOS campaign LIDARs. The IAOOS campaign was carried out jointly by the LATMOS and LOCEAN and aimed at deepening our understanding of the Arctic ocean, atmosphere and their interactions. My objective in particular was to establish statistics of low cloud cover in the Arctic.

Abstract

The Arctic is a key region of climate change, warming at nearly twice the rate of the rest of our planet. However, some of the processes and mechanisms of its lower troposphere are still in question because of the dearth of observations at high latitudes. In particular, the impact of clouds on the Arctic warming is still highly uncertain and model output is very variable.

During my final year project, I processed and analysed data from LIDARs that are embarked on buoys which are trapped in the sea-ice and drift with it. These buoys have been deployed in the Arctic Ocean every year since 2014 by the research labs LATMOS and LOCEAN as part of the « IAOOS » campaign (Ice - Atmosphere - Arctic Ocean Observing System). From these measurements I was able to build a statistic of Arctic cloud frequency and optical depth. This statistic agrees with the global trends and patterns revealed in previous studies of satellite data. However, there is a difference of nearly one order of magnitude in the values of optical depth, which should be the source of further investigation.

• Aménagement et
• urbanisme
• Regional and Urban
• Planning

• Appels d'offres,
• financement
• de projets
• d'infrastructures
• Tenders, Infrastructure
• Project Finance

• Énergies
• Energies

• Environnement,
• développement
• durable
• Environment,
• Sustainable
• Development

• Gestion de l'eau
• Water Management

• Transports et
• logistique
• Transportation and
• Logistics

Éléments de bibliographie

MARIAGE, Vincent, 2015. *Développement et mise en oeuvre de LiDAR embarqués sur bouées dérivantes pour l'étude des propriétés des aérosols et des nuages en Arctique et des forçages radiatifs induits* [en ligne]. Thèse de doctorat. Paris : université Pierre et Marie Curie - Paris VI. Disponible à l'adresse : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01334040> [consulté le 19.05.2020].

SERREZE, Mark C. et BARRY, Roger G., 2011. Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. *Global and Planetary Change* [en ligne], 2011, vol. 77, n° 1, p. 85-96. DOI 10.1016/j.gloplacha.2011.03.004 [consulté le 19.05.2020].

KAY, Jennifer E., L'ECUYER, Tristan, CHEPFER, Helene, LOEB, Norman, MORRISON, Ariel et CESANA, Gregory, 2016. Recent Advances in Arctic Cloud and Climate Research. *Current Climate Change Reports* [en ligne], 2016, vol. 2, n° 4, p. 159-169. DOI 10.1007/s40641-016-0051-9 [consulté le 19.05.2020].



Lorraine ROULIER

Élève ingénieure Polytechnique

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à Investir&+

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* : Antoine MICHEL, Partner

Tuteur académique • *Academic Tutor* : Jean-Marc GERMAIN, enseignant, École des Ponts ParisTech



Finance durable

L'importance des investissements de petite taille

Finance durable • Adaptation • Réchauffement climatique • Finance verte • Entrepreneuriat

Contexte

Alors qu'apparaissent les premières conséquences du réchauffement climatique, l'enjeu du financement de l'adaptation et de l'atténuation est palpable. Des outils de financement durable se développent, aux définitions multiples. La complexité de la mesure et de l'évaluation des critères extra-financiers rend le secteur difficilement lisible et entrave son nécessaire développement.

Missions et objectifs

Investir &+ est un « fonds d'investissement à impact » qui investit dans des *start-up* à fort impact social ou environnemental. Le projet de fin d'études a eu pour objectif d'effectuer un diagnostic de la finance durable, afin d'identifier la place des fonds à impact dans ce secteur et les enjeux à court et à long termes pour permettre de systématiser la prise en compte de critères extra-financiers dans l'investissement.

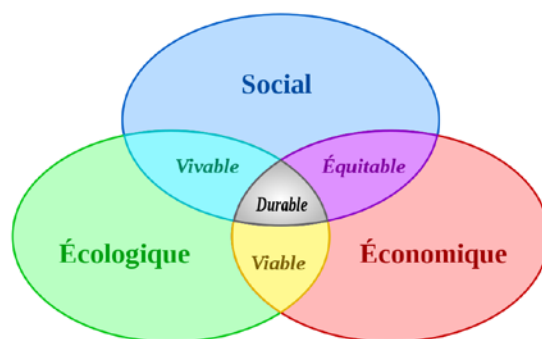
Résumé

La finance durable connaît deux freins principaux à son adoption généralisée : l'absence de standards de mesure communs à tous les acteurs et la difficulté de proposer une mesure qui prenne en compte tous les aspects de l'impact (direct, indirect, sur la biodiversité, la qualité des sols, les émissions, l'emploi, la santé, etc.). Les fonds d'investissement à impact sont un financeur parmi d'autres de cet écosystème complexe et ne représentent qu'une partie très minoritaire des fonds mobilisés pour les investissements durables.

Cependant, de par la typologie des projets qu'ils financent, leur impact sur la visibilité des sujets de durabilité est important. Les *start-up* à impact, parce qu'elles

développent des modèles socialement et techniquement innovants, jouent un rôle important dans la sensibilisation des acteurs économiques aux sujets sociaux et environnementaux. En effet, la majorité des acteurs économiques aujourd'hui ne sont pas ou peu sensibilisés aux enjeux du développement durable. Les cadres et standards de mesure d'impact existants ne sont pas adaptés à des acteurs novices : un enjeu majeur pour le développement de la finance durable sur le court terme est donc la démocratisation de la mesure d'impact.

Le rôle d'accélérateur de l'entrepreneuriat et des fonds à impact est essentiel dans un contexte d'urgence climatique, mais sur le long terme, c'est seulement grâce à la concertation de l'ensemble des acteurs économiques que la finance durable pourra se généraliser. Les régulateurs ont un rôle crucial à jouer dans la mise en place de standards internationaux obligatoires qui permettront d'orienter les flux financiers.



Le développement durable © Johann Dréo, 2007, CC-BY-SA 3.0 (source : Wikimedia Commons).

Sustainable finance

The part played by small investments

Sustainable finance • Adaptation • Global warming •
Green finance • Entrepreneurship

Context

As the first consequences of global warming appear, financing adaptation and mitigation is becoming a pressing issue. Sustainable financing tools develop, and accept multiple definitions. Measuring and evaluating non-financial criteria is complex, and makes it difficult for sustainable finance to grow.

Missions and goals

Investir&+ is an impact investing fund, financing start-ups aiming to have a high environmental or social impact. The goal of this final year project was to carry out a diagnosis of sustainable finance, in order to identify the part of impact investing funds in the sector, and to highlight the short and long term stakes enabling a systemic integration of extra-financial criteria in investment.

Abstract

Sustainable finance faces two main hurdles against its generalized adoption: the absence of common measuring standards and the difficulty to present a measure able to take into account all aspects of impact (direct, indirect, on biodiversity, soil quality, GHG emissions, employment, health, etc). Impact investment funds are a funder among others in this complex ecosystem, and account for a minor part of the funds mobilized for sustainability.

However, impact investment funds play an important part in enhancing the visibility of sustainability when considering the type of projects they fund.

Impact start-ups develop new economic models, socially and technically innovative, thus playing a major part in sensitizing economic actors to environmental and social stakes. Indeed, most economic actors are not accustomed to sustainable development. Current standards for measuring impact are not simple enough for a new user to understand. In the short term, a major stake for the development of sustainable finance lies in democratising impact measurement.

The accelerating part played by impact investment funds and entrepreneurs is crucial in the context of climate emergency, but in the long term, sustainable finance will be able to generalize only through the cooperation of all economic actors. Regulators will have to play a major part in the setting of international mandatory standards that will enable the redirection of financial flows.

KPIs: "If you measure the wrong thing you do the wrong thing"



Illustration de la complexité du choix d'indicateurs de mesure viables © Gerd Leonhard, 2013, CC-BY-SA 2.0 (source : Flickr). Disponible sur : <https://www.flickr.com/photos/gleonhard/9563087258>

- Aménagement et urbanisme
- Regional and Urban Planning
- Appels d'offres, financement de projets d'infrastructures
- Tenders, Infrastructure Project Finance
- Énergies
- Energies
- Environnement, développement durable
- Environment, Sustainable Development
- Gestion de l'eau
- Water Management
- Transports et logistique
- Transportation and Logistics

Éléments de bibliographie

HAINAUT, Hadrien, LEDEZ, Maxime et COCHRAN, Ian, 2019, *Panorama des financements climat en France* [en ligne]. I4CE. Disponible à l'adresse : <https://www.i4ce.org/wp-core/wp-content/uploads/2019/09/I4CE-Panorama2019.pdf>

RICHARD, Jacques, 2019, *Dix thèses sur une nouvelle comptabilité écologique* [en ligne]. Conférence donnée le 22 novembre 2019. Disponible à l'adresse : <https://www.fime-lab.org/event/jacques-richard-universite-paris-dauphine/>



Chenlu LI

Élève ingénieure double diplôme
Université de Tongji, Shanghai, Chine

Promotion 2018

Mission recherche réalisée au
LEESU

Tuteurs professionnels • *Organization Tutor* :
Yi HONG et Brigitte VINÇON-LEITE, chargés de recherche

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Laurent MOULIN, enseignant, École des Ponts ParisTech



Modélisation hydrologique et évaluation des impacts des rejets pluviaux sur le lac urbain

Lac urbain • Rejets pluviaux • Delft3d • SWMM • Modélisation intégrée

Contexte

La contamination par des micro-organismes pathogènes est un sujet majeur pour les activités récréatives dans les lacs, en raison des risques sanitaires qu'elle représente pour le public. Source importante de contamination des milieux aquatiques, les rejets pluviaux ont un impact notable sur la qualité de l'eau dans les lacs urbains. Par conséquent, il est nécessaire d'étudier ces impacts dans l'intérêt de la gestion, de la prise de décision et de la prévision de la qualité microbiologique de l'eau des lacs.

Missions et objectifs

Les objectifs principaux de ce projet de fin d'études ont été les suivants :

- coupler un modèle à l'échelle du bassin-versant urbain avec un modèle à l'échelle du milieu aquatique ;
- évaluer les impacts des rejets pluviaux sur la distribution spatio-temporelle de la qualité microbiologique du lac.

Le lac de Créteil, un lac urbain d'Île-de-France où se déroulent de nombreuses activités aquatiques, a été choisi comme site d'étude. *Escherichia coli* (E.coli) a été utilisé comme indicateur de la contamination pathogène.

Résumé

En considérant l'interaction entre les conditions météorologiques, le bassin-versant urbain et le milieu récepteur, le modèle SWMM a d'abord été appliqué au bassin-versant urbain du lac de Créteil pour simuler le débit et la concentration d'E.coli à l'exutoire du réseau pluvial. Ces

résultats de simulation ont ensuite été couplés avec le modèle hydrodynamique Delft3d pour simuler la distribution spatiale et temporelle d'E.coli dans le lac de Créteil. Pour ce faire, il a été nécessaire de réaliser un couplage du modèle à l'échelle du bassin-versant urbain et du modèle à l'échelle du milieu aquatique. La modélisation intégrée reproduit bien les distributions temporelles et spatiales d'E.coli mesurées dans le lac pendant et après un événement pluvieux. Ce modèle peut fournir de nombreuses informations sur le comportement des indicateurs fécaux dans les lacs et peut être prometteur pour la gestion et la prévision de la qualité de l'eau microbiologique dans le lac de Créteil.



Vue aérienne du lac de Créteil © Hervé Suaudeau 2016, CC-BY-SA
(source : Wikimedia Commons). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vue_aérienne_du_lac_de_Créteil.jpg

Hydrological modeling and evaluation of the impacts of stormwater discharges on urban lakes

Urban lake • Storm discharge • Delft3d • SWMM • Integrated modelling

Context

Pathogen contamination is a matter of concern for urban recreational lakes due to the health risks it may cause for the public. As an important contribution to fecal pollution, storm discharge has great impacts for water quality in urban lakes. Therefore, it is necessary to study these impacts for the sake of management, decision making and prediction of microbial water quality of lakes.

Missions and goals

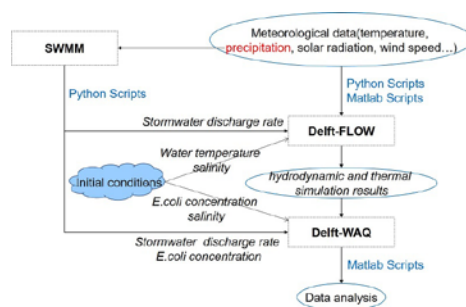
The main objectives of our study are to :

- combine a model at the urban catchment scale with a model at the aquatic environment scale;
- evaluate the impacts of storm discharge on the spatial and temporal distribution of the water quality in Lake Creteil.

Abstract

Lake Creteil, an urban recreational lake in the Greater Paris region, has been chosen as our study site. *Escherichia coli* (*E.coli*) has been used as an indicator of pathogen pollution. Considering the interactions between the meteorological conditions, the urban catchment and the receiving environment, the SWMM model is first applied to

the urban catchment of Lake Creteil to simulate water flow and *E.coli* concentration at the outlet of the storm drainage system. These simulation results are sequentially coupled with the Delft3d model to simulate the spatial and temporal distribution of *E.coli* in Lake Creteil. The coupling of the two models applied at different scales was well realized. Considering the uncertainty of measurement, the integrated modeling accurately reproduces the temporal and spatial distributions of *E.coli* in the lake. This model can provide many insights into the behavior of pathogens in lakes and can be very promising for management and prediction of microbial water quality for Lake Creteil.



Simulation process for *E.coli* on Lake Creteil © Chenlu Li, 2018.

Éléments de bibliographie

SOULIGNAC, Frédéric, *et al.*, 2017. Performance Assessment of a 3D Hydrodynamic Model Using High Temporal Resolution Measurements in a Shallow Urban Lake. *Environmental Modeling & Assessment*, 2017, vol. 22, n° 4, pp. 309-322. DOI 10.1007/s10666-017-9548-4.

- Aménagement et urbanisme
- Regional and Urban Planning
- Appels d'offres, financement de projets d'infrastructures
- Tenders, Infrastructure Project Finance
- Énergies
- Energies
- Environnement, développement durable
- Environment, Sustainable Development
- Gestion de l'eau
- Water Management
- Transports et logistique
- Transportation and Logistics



Changyuyi ZHOU

Élève ingénieure double diplôme
Université de Tongji, Shanghai, Chine

Promotion 2018

Mission recherche réalisée à
Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science
et la culture (UNESCO)

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Anil MISHRA, IHP Programme Specialist

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Éric GAUME, directeur du département Géotechnique, environnement,
risques naturels et sciences de la Terre (GERS)



Pollution de l'eau dans le bassin du lac Taihu en Chine : sources et mesures

Bassin du lac Taihu • Eutrophisation • Pollution diffuse • Entités administratives

Contexte

Le bassin du lac Taihu, troisième plus grand lac d'eau douce de Chine, connaît actuellement un développement démographique et économique très rapide ainsi qu'une augmentation des activités agricoles. En raison de la consommation excessive de ressources naturelles et de la pression liée au développement économique, l'environnement s'est considérablement dégradé, avec notamment de graves problèmes de pollution de l'eau et d'eutrophisation.

Missions et objectifs

- Comprendre les évolutions géographiques et hydrologiques du bassin du lac Taihu ;
- évaluer les sources possibles de pollution basées sur les changements d'usage des sols ;
- modéliser et prévoir les fluctuations de la qualité de l'eau dans le bassin du lac Taihu et proposer des mesures efficaces d'atténuation de la pollution en se focalisant sur les sources principales.

Résumé

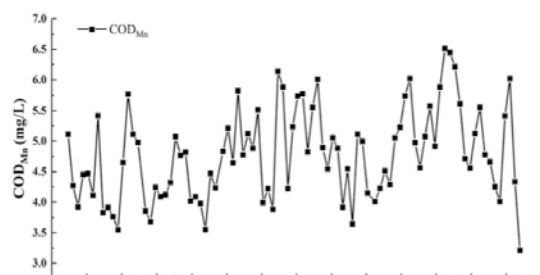
Au cours des deux décennies après 1980, l'industrialisation et l'urbanisation rapides, combinées à un manque de gestion efficace et de mesures techniques, ont causé de nombreux problèmes environnementaux graves tels que l'eutrophisation, la pollution organique et la destruction de l'écosystème aquatique.

À l'heure actuelle, les sources de polluants du bassin du lac Taihu comprennent les sources ponctuelles industrielles, les sources domestiques et la pollution agricole diffuse. En raison de l'impossibilité de déterminer les limites géographiques des zones rurales et suburbaines,

la maîtrise des pollutions diffuses est une question complexe. Le problème de pollution est en outre aggravé par une mauvaise gestion de la ressource en eau.

Au cours des dernières années, certaines réalisations ont été accomplies dans la gestion de l'environnement aquatique dans le lac Taihu : les mesures techniques destinées à traiter la pollution d'origine industrielle sont utiles. Mais il y a encore de nombreuses lacunes dans les mesures de gestion, ce qui est susceptible de compromettre les bénéfices de ce traitement.

Actuellement, compte tenu des nouvelles démarches de management environnemental, poussant à adopter une vision plus intégrée du problème, il est suggéré dans ce mémoire de pousser le bassin vers cette idée, en établissant une autorité plus forte et combinée pour planifier, mettre en œuvre, suivre et évaluer le développement du territoire. Pour ce faire, il faudrait notamment développer l'agriculture biologique pour contrôler la pollution de source non-ponctuelle, perfectionner un marché d'échange de permis d'émission, et sensibiliser le public à la protection de l'environnement.



Variabilité des concentrations en matière organique (estimées d'après la demande chimique en oxygène) dans le lac © Changyuyi Zhou, 2018.

Water pollution in Taihu Lake basin in China: sources and measures

Taihu Lake basin • Eutrophication • Non-point source pollution •
Administrative entities • Organic farming

Context

The social and economic development of the Taihu Lake basin is rapid, and the economic aggregate plays an important role in the area. Due to the long-term dependence on the labor input, excessive consumption of natural resources and destruction of the ecological environment has occurred. This demand for economic growth has resulted in drastic deterioration of this environment, with water pollution and eutrophication becoming increasingly serious issues.

Missions and goals

- To figure out the hydrological evolution of Taihu Lake basin in terms of its chronology and geography;
- to analyze the possible pollution sources based on changes in the ecological environment;
- to model and predict water quality changes in the Taihu Lake basin, and to propose effective measures for pollution mitigation according to the causes of pollution formation on a technical level.

Abstract

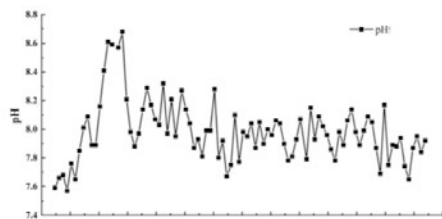
The Taihu Lake basin is the centre of water regulation and water ecosystems of the entire basin area. Prior to the 1980s, water quality of the lake was good. In the following two decades, rapid industrialization and urbanization, combined with a lack of effective management and technical know-how, have caused many serious environmental problems such as eutrophication, organic pollution, and destruction of the aquatic ecosystem.

At present, the sources of pollutants include industrial point sources, domestic sources and

non-point source pollution (including livestock and poultry farming, aquaculture, agriculture, etc.). Due to the impossibility in determining the geographically dispersed boundaries of rural and suburban areas, the origin of agricultural non-point source pollution is difficult to identify and determine. At the same time, these problems of water environment in Taihu Lake basin are also partly exacerbated by poor management practices.

Over the past few years, some advances have been made in the management of water environment in Taihu Lake: the technical measures dealing with industrial pollution have been useful. But there are still a lack of management know-how which jeopardises the expected outcomes of the treatment.

Nowadays, in terms of new environmental management concepts, it is suggested in this master thesis to push the Taihu Lake basin towards this idea, by establishing a more combined and powerful governance to plan, implement, monitor, and evaluate the environment. This would include developing organic farming to control pollution from non-point sources, perfecting a market for trading emission permits, and raising public awareness of environmental protection.



Variabilité du pH © Changyuyi Zhou, 2018.

- Aménagement et urbanisme
- Regional and Urban Planning
- Appels d'offres, financement de projets d'infrastructures
- Tenders, Infrastructure Project Finance
- Énergies
- Energies
- Environnement, développement durable
- Environment, Sustainable Development
- Gestion de l'eau
- Water Management
- Transports et logistique
- Transportation and Logistics

Éléments de bibliographie

BRENNER, T., *et al.*, 2003. The Present Status of the River Rhine with Special Emphasis on Fisheries Development. In : *Proceedings of the second international symposium on the management of large rivers for fisheries* (en ligne). FAO. Disponible à l'adresse : <http://www.fao.org/3/ad525e/ad525e08.htm#bm08>. [Consulté le 6 mars 2020]

DURGIN, Timothy George, 2010. *Pollution Prevention in Lake Tai* (en ligne). The Ohio State University. Disponible sur : https://etd.ohiolink.edu/pg_10?o:NO:10_P10_ACCESSION_NUM:osu1275507366 [Consulté le 6 mars 2020].

P.R. CHINA & NATIONAL BUREAU OF STATISTICS, 2013. China census for Water. *Bulletin of First National Census for Water*. Ministry of Water Resources. China Water Power Press.



Clara BELLERA ARBÓS

Élève ingénieure double diplôme
Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelone, Espagne

Promotion 2018

Mission en entreprise réalisée à
Cinesi SLU

Tuteurs professionnels • *Organization Tutors* :
Jordi CASAS et Ana SOLA, Project Managers

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Nicolas COULOMBEL, chercheur, LVMT, École des Ponts ParisTech



Par quels moyens les collectivités peuvent-elles promouvoir une mobilité plus durable ?

Mobilité durable • Mobilité urbaine • Plan de déplacements urbains

Contexte

Actuellement, 50% de la population mondiale habite dans des villes et cette proportion continuera d'augmenter. Les villes devront s'étendre, ce qui entraînera des problèmes de mobilité. De plus, les objectifs actuels pour la prévention du changement climatique suggèrent que la mobilité urbaine doit concourir à favoriser les modes doux et le transport en commun au détriment de la voiture. Le défi des collectivités est d'offrir un système de transport durable, accessible et intégré.

Missions et objectifs

Depuis quelques années, les plans de déplacements urbains (PDU) sont devenus des outils de planification pour aborder ces enjeux liés au transport des milieux urbains de façon durable et intégrée. Ce mémoire analyse le rôle des PDU dans la planification de la mobilité urbaine, en particulier dans le cas des villes de taille moyenne, qui généralement font face à des moyens limités. L'objectif est d'examiner les mesures à mettre en place pour promouvoir une mobilité durable.

Résumé

La première partie du travail s'intéresse aux caractéristiques de la mobilité urbaine mondiale et présente les PDU. L'objet de la deuxième partie est de présenter l'état de l'art en matière de législation concernant la planification de la mobilité dans les pays européens, avec un *benchmark* de mesures de plusieurs PDU. La dernière partie porte sur la ville espagnole de Vic, peuplée d'environ 45 000 habitants, et analyse les mesures proposées dans son PDU au travers d'un tableau multicritère.

L'état de l'art de la législation a permis de montrer que les PDU analysent les points forts et les points faibles des réseaux de transport pour proposer des mesures pour

tous les modes. Ces mesures comportent l'amélioration de l'espace public afin de le rendre plus attractif et sûr pour les piétons et tâchent de dissuader de l'usage de la voiture en facilitant l'accès au transport public.

Dans le cas des villes analysées, les actions proposées impliquent de légers changements qui peuvent servir à atteindre les objectifs face aux moyens limités de villes de taille moyenne (voir le cas de Vic).

Un des avantages des PDU relève d'une approche globale basée sur un diagnostic, dont les synergies sont possibles entre mesures. Néanmoins, il est important d'établir un ordre de priorité et de définir les horizons temporels pour assurer leur mise en place et définir des indicateurs pour suivre leurs effets.

Les PDU servent donc aux collectivités à planifier un système de transport plus durable de manière intégrée. Les mesures proposées aident à atteindre les objectifs de mobilité durable de la ville sans nécessiter de lourds investissements, élément important pour les villes de taille moyenne.



Rue piétonnière à Vic © Clara Bellera Arbós, 2018.

How can municipalities promote a more sustainable mobility?

Sustainable mobility • Urban mobility • Sustainable urban mobility plan

Context

Nowadays, 50% of the world's population live in cities and this percentage will continue to grow, so cities will have to develop, which will result in mobility problems. Moreover, in a context characterized by a move towards more sustainable mobility in order to meet the climate targets, the aim of urban mobility must be to promote non-polluting modes of transport (walking and cycling) and public transport, to the detriment of cars. The challenge for local authorities is to offer a transport system that is sustainable, accessible and integrated.

Missions and goals

In recent years, Urban Mobility Plans (SUMPs) have become planning tools to address these urban transportation issues in a sustainable and integrated manner. This paper analyses the role of SUMPs in urban mobility planning, particularly in the case of medium-sized cities, which generally face limited resources. The objective is to examine the measures to be put in place to promote sustainable mobility.

Abstract

The first part of this final year project analyzes the characteristics of urban mobility around the world and presents the SUMPs. The aim of the second part is to study the state-of-the-art in terms of mobility planning legislation in different European countries, with a benchmark of measures of several SUMPs. The last part focuses on Vic, a Spanish city with a population of approximately 45 000 inhabitants, and the measures proposed in its SUMP are examined through a multi-criteria analysis.

The state-of-the-art review of legislation has shown that SUMPs analyze the transportation networks' strengths and weaknesses to propose measures for all of them. These measures include the improvement of public space in order to make it more attractive and secure for pedestrians and try to discourage the use of cars giving more facilities to public transportation.

Concerning the cities under review, the measures proposed do not require large investments. Thus, these are small changes that can have a significant impact and help achieve the goal in small cities with limited resources, as seen in the case of Vic.

One of the advantages of SUMPs is their global approach based on a diagnosis and synergies between multiple measures. However, it is important to establish a priority order and time horizons recommended in order to ensure their implementation, as well as to monitor their impact through indicators.

Ultimately, SUMPs let local authorities plan sustainable urban transportation in an integrated way. The proposed measures help the city reach its objectives concerning sustainable mobility without large investments, something useful for mid-sized cities.



Piste cyclable au centre de Vic © Clara Bellera Arbós, 2018.

• Aménagement et
• urbanisme
• Regional and Urban
• Planning

• Appels d'offres,
• financement
• de projets
• d'infrastructures
• Tenders, Infrastructure
• Project Finance

• Énergies
• Energies

• Environnement,
• développement
• durable
• Environment,
• Sustainable
• Development

• Gestion de l'eau
• Water Management

• Transports et
• logistique
• Transportation
• and Logistics

Éléments de bibliographie

Developing and implementing a Sustainable urban mobility plan, 2013 [en ligne]. Guidelines. European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans. Disponible à l'adresse : https://www.eltis.org/sites/default/files/guidelines-developing-and-implementing-a-sump_final_web_jan2014b.pdf

Plans de mobilitat urbana, 2010. Diputació de Barcelona. Disponible sur : http://xarxamobal.diba.cat/mobal/documents/biblioteca/diba_pmu_ii.pdf

RUPPRECHT CONSULT, 2012. *The State-of-the-Art of sustainable urban mobility plans in Europe* [en ligne]. Disponible à l'adresse : http://www.rupprecht-consult.eu/uploads/tx_rupprecht/SUMP_state-of-the-art_of_report.pdf



Gabriel Afonso DO COUTO RODRIGUES

Élève ingénieur double diplôme
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brésil

Promotion 2018

Mission en entreprise réalisée à
IMMA France

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Stéphane DEMONCHAUX, consultant expert Lean Construction/ Supply

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Philippe WIESER, enseignant, École des Ponts ParisTech et École polytechnique
fédérale de Lausanne



École des Ponts
ParisTech



La *supply chain* et le paradigme des flux dans l'industrie de la construction

Une étude de cas sur le chantier de Roland Garros

BTP • Lean management • Logistique • Roland Garros • Supply chain

Contexte

L'industrie de la construction rencontre des difficultés à suivre le niveau d'exigence croissant de ses clients en termes de délais et de qualité. La productivité dans le secteur de la construction a augmenté d'à peine 1% par an durant ces 20 dernières années (BARBOSA, *et al.*, 2017).

Le secteur de la construction est décrit par plusieurs auteurs et chercheurs comme une industrie très fragmentée, fortement règlementée par les pouvoirs publics et dans laquelle les relations adverses subsistent.

Toutefois, une lente reconfiguration dans le marché de la construction fait que les principaux acteurs remettent en cause leur modèle actuel de gestion de la production. Il ne s'agit pas seulement de réduire les coûts, mais surtout de mieux tenir compte de l'ensemble des attentes du client.

Missions et objectifs

L'objectif était d'expérimenter l'applicabilité des principes du *lean management* et de la *supply chain management* dans l'industrie de la construction. Dans un premier temps, les principaux enjeux et difficultés du secteur de la construction ont été identifiés, ainsi que les limites de l'approche *lean*. Ensuite, la modélisation des flux réalisée sur le projet de modernisation du stade de Roland Garros, à Boulogne-Billancourt, a permis de développer une stratégie d'approvisionnement du chantier à pied d'œuvre en flux tirés par les besoins des travaux.

Résumé

La gestion du chantier de modernisation du stade de Roland Garros, comme la majorité des projets de construction au monde, se centrerait sur un paradigme

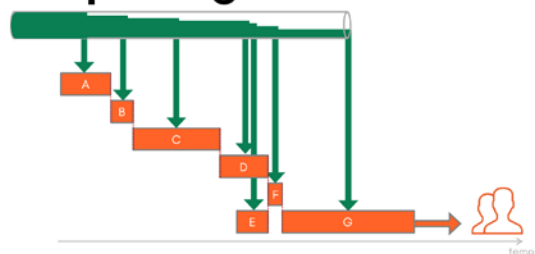
d'enclenchement empirique des tâches. La constitution d'un stock en base arrière semblait être le meilleur choix pour alimenter en continu les postes de travail.

La visite réalisée chez un de ses fournisseurs a généré une VSM (Value Stream Mapping) qui, étendue sur toutes les SKU (Stock-keeping Unit) préfabriquées, a permis de réaliser une cartographie des flux.

Une analyse quantitative et qualitative des flux entrants et sortants a généré une proposition de stratégie logistique. La stratégie initiale conçue par le chantier a été confrontée à cette nouvelle organisation proposée via un cadre SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*).

Le développement d'un modèle numérique pour estimer le nombre de livraisons a permis de visualiser les vrais besoins du chantier. Le modèle a permis également d'estimer les vrais coûts logistiques dans un chantier de construction : environ 6% du montant total des travaux.

Le paradigme des flux



Face à un raisonnement axé sur l'enclenchement technique des tâches (en orange), un nouveau paradigme est proposé. Le paradigme des flux prend en compte les flux d'approvisionnements du chantier et leur variabilité pendant le projet (en vert) © Gabriel Afonso Do Couto Rodrigues, 2018.

Supply chain and flow paradigm in the construction industry

A case study on the Roland Garros modernization project

BTP • Lean management • Logistics • Roland Garros • Supply chain

Context

The construction industry finds it difficult to keep up with the increasing demands of its customers in terms of time and quality. Construction productivity has increased by just 1% per year during the last 20 years (BARBOSA, et al., 2017).

The construction sector is described by several authors and researchers as a very fragmented industry, highly regulated by public authorities and in which adverse relationships persist.

However, a slow reconfiguration in the construction market signs that the main players are questioning their current model of production management. It's not just about reducing costs, it's about delivering a product that best meets all of customers' expectations.

Missions and goals

To experiment the applicability of lean management and supply chain management principles in the construction industry. First, the main challenges and difficulties of the construction sector were identified, as well as the limits of the lean approach. Further, the model of flows carried out on the Roland Garros modernization project in Boulogne-Billancourt, made it possible to develop for the site a supplying strategy pulled by the worksite needs.

Abstract

The management of the Roland Garros modernization worksite, like the majority of construction projects in the world, focused on an empirical task flow paradigm. Back-up stocking seemed to be

the best choice for continuously supplying workstations.

The visit to one of the project suppliers generated a VSM (Value Stream Mapping) which, extended to all prefabricated SKUs (Stock-keeping Units), made it possible to carry out a flow mapping.

A quantitative and qualitative analysis of incoming and outgoing flows generated a new logistics strategy proposal. The initial strategy designed by the site was confronted with this new organization proposed via a SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) framework.

The development of a digital model to estimate the number of deliveries made it visible the real needs of the site. The model also made it possible to estimate the real logistics costs in a construction site: around 6% of the overall construction costs.



Pour quantifier les besoins logistiques du chantier, deux scénarios ont été conçus : un scénario lissé et un scénario de pic. Dans l'image, les heures de la grue G4 nécessaires par jour pour les opérations de déchargement des camions - sans prendre en compte le temps nécessaire de pose © Gabriel Afonso Do Couto Rodrigues, 2018.

Éléments de bibliographie

- VOORDIJK, Hans et al. 2003. Improving supply chain management in construction; what can be learned from the aerospace industry? In : *Proceedings of the Annual ARCOM Conference, University of Brighton, Brighton*, pp. 837-846.
- BARBOSA, Filipe, et al. 2017. *Reinventing construction: a route to higher productivity*. McKinsey Global Institute.
- VRIJHOEF, R., KOSKELA, L. J. et HOWELL, G., 2001. Understanding construction supply chains: an alternative interpretation. In : *Proceedings of 9th International Group for Lean Construction Conference* [en ligne]. National University of Singapore, pp. 185-199. Disponible à l'adresse : <http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/9422/> [consulté le 7 avril 2020].

- Aménagement et urbanisme
- Regional and Urban Planning
- Appels d'offres, financement de projets d'infrastructures
- Tenders, Infrastructure Project Finance
- Énergies
- Energies
- Environnement, développement durable
- Environment, Sustainable Development
- Gestion de l'eau
- Water Management

• Transports et logistique

• Transportation and Logistics



Javier GUIMERA TENA

Élève ingénieur double diplôme
 Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelone, Espagne
 Master TraDD (Transport et développement durable), École des Ponts ParisTech,
 Mines ParisTech et École polytechnique

Promotion 2018

Mission en entreprise réalisée à :
 Padam Mobility

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
 Ziad KHOURY, co-fondateur & COO

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
 Virginie BOUTUEIL, chercheuse, LVMT, École des Ponts ParisTech



Pertinence du Transport à la Demande (TAD) dans le milieu rural

TAD • Mobilité rurale • Benchmark • Domaines de pertinence

Contexte

Dans un contexte de ressources limitées et de crise économique, l'inégalité d'investissement entre les transports urbains et ruraux est une réalité. Les villes, plus peuplées et denses, sont plus simples à desservir et présentent des taux d'accessibilité plus élevés. L'inefficacité des modes classiques quand la demande est faible ou irrégulière a montré les faiblesses du transport public rural et a obligé à trouver des alternatives pour garantir le développement de ce milieu. Le numérique a permis la consolidation de la mobilité innovante et notamment du Transport à la Demande (TAD). C'est dans le cadre de son implémentation que ce projet de fin d'études s'inscrit.

Missions et objectifs

L'objectif est de déterminer pourquoi le TAD est une solution pertinente pour desservir les zones rurales peu denses et quels sont les domaines de cette pertinence. Pour cela, le travail se divise en deux parties qui structurent les missions réalisées. D'abord, une analyse de la littérature permet de comprendre les enjeux de la mobilité rurale et déterminer la pertinence du TAD. Une grille d'analyse est ensuite remplie avec les TAD ruraux en Europe de l'Ouest. Une réflexion permet de déterminer ses domaines de pertinence potentiels qui sont ensuite validés par l'analyse des services de Padam Mobility.

Résumé

Les enjeux et besoins particuliers de la mobilité rurale, qui incluent la dispersion et le faible taux d'accessibilité, exigent des solutions adaptées. Le TAD, apparu dans les années 1980, connaît un renouveau grâce au numérique. Sa capacité à adapter l'offre au territoire et à la demande lui confère de la flexibilité pour répondre effectivement

aux besoins de mobilité. Ayant prouvé sa performance dans le périurbain, l'évaluation de ses propriétés permet également de situer le TAD comme une solution pertinente pour le milieu rural, dans de nouveaux services, en substitution ou en complément des lignes fixes.

L'analyse de ses implémentations rurales permet d'identifier les typologies de territoires où cette solution est utilisée et les cas d'usage associés. Cela mène à définir 5 domaines de pertinence potentiels qui établissent les conditions dans lesquelles le TAD peut être considéré comme une solution rurale pertinente et dont la mise en œuvre sera effective pour garantir l'accessibilité.

Les performances acceptables des TAD ruraux chez Padam Mobility ont permis de valider ces domaines. Enfin, définir correctement les configurations apparaît comme une étape clé pour la création de services performants.



Route près de La Balma, sanctuaire dans le milieu rural espagnol © Javier Guimera Tena, 2018.

Relevance of Demand Responsive Transport (DRT) in rural areas

DRT • Rural mobility • Benchmark • Areas of relevance

Context

In a context of limited resources and economic crisis, the inequality of investment between urban and rural transport is a reality. Cities, more populated and denser, are easier to serve and have higher accessibility rates. The ineffectiveness of conventional modes when demand is low or irregular has shown the weaknesses of rural public transport and has forced us to find alternatives to guarantee the development of these areas. Emerging technology has made it possible to consolidate innovative mobility and therefore Demand Responsive Transport (DRT). It is within the framework of its implementation that this final project exists.

Missions and goals

The objective is to determine why DRT is a relevant solution for serving the sparse countryside and what are the areas of this relevance. For this, the work is divided into two parts which structure the missions carried out. First, a literature review helps to understand the challenges of rural mobility and determine the relevance of DRT. Then, an analytical grid is completed with rural DRTs in Western Europe. A combined thinking makes it possible to determine its potential areas of relevance which are then validated by the analysis of Padam Mobility's services.

Abstract

The specific challenges and needs of rural mobility, which include dispersal and the low accessibility rate, require suitable solutions. DRT, which appeared in the 1980s, is experiencing a revival

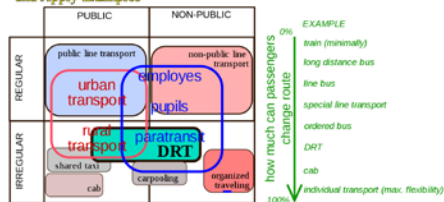
thanks to emerging technology. Its ability to adapt supply to the territory and to the demand gives it flexibility to effectively meet mobility needs. Having proven its performance in the peri-urban area, the evaluation of its properties also makes it possible to locate DRT as a relevant solution for rural areas, in new services or as a replacement or complement to fixed lines.

The analysis of its rural implementations makes it possible to identify the typologies of territories where this solution is used and the associated use cases. This leads to the definition of five potential areas of relevance which establish the conditions under which DRT can be considered as a relevant rural solution and whose implementation will be effective to guarantee accessibility.

The acceptable performance of rural DRTs at Padam Mobility has enabled these areas to be validated. Finally, correctly defining the configurations appears to be a key step for the creation of high-performance services.

Mass Transport Classes

Transport Categories Relationship and Apply Examples



Definition of DRT among other types of transport © Rkoblizek (Robert Koblizek), 2011. CC-BY-SA 3.0. (source : Wikimedia Commons).

- Aménagement et urbanisme
- Regional and Urban Planning
- Appels d'offres, financement de projets d'infrastructures
- Tenders, Infrastructure Project Finance
- Énergies
- Energies
- Environnement, développement durable
- Environment, Sustainable Development
- Gestion de l'eau
- Water Management
- Transports et logistique
- Transportation and Logistics

Éléments de bibliographie

DAVISON, Lisa, *et al.*, 2014. A survey of Demand Responsive Transport in Great Britain. *Transport Policy* [en ligne], 2014, vol. 31, p. 47-54. DOI 10.1016/j.tranpol.2013.11.004 [consulté le 07.05.2020].

DELGADO URRECHCO, José María *et al.*, 2016. El transporte a la demanda como sistema de movilidad alternativo en áreas rurales de baja densidad demográfica: el caso de Castilla y León. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* [en ligne], 2016, vol. 0, n° 72, p. 195-220. DOI 10.21138/bage.2337 [consulté le 07.05.2020].

HOUGH, Jill *et* TALEQANI, Ali Rahim, 2018. Future of Rural Transit. *Journal of Public Transportation* [en ligne], 2018, vol. 21, n° 1, p. 31-42. DOI http://doi.org/10.5038/2375-0901.21.1.4 [consulté le 07.05.2020].



Anis HANNOUCHE

Élève ingénieur double diplôme
École supérieure des ingénieurs de Beyrouth,
université Saint-Joseph (USJ), Liban

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à
A.T. Kearney

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Elie ARAMOUNI, Manager

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Philippe WIESER, enseignant, École des Ponts ParisTech



Étude de réalisation d'une plateforme logistique dans un pays du golfe Persique

Plateforme logistique • Transport de marchandises • Transbordement

Contexte

Le gouvernement d'Arabie saoudite a lancé en avril 2016 le programme Vision2030, visant à diversifier son économie, majoritairement dépendante du pétrole. Ce programme repose sur trois piliers, dont celui de faire du Royaume une plateforme logistique reliant les continents asiatique, européen et africain. Parmi les projets en jeu, l'optimisation des services logistiques représenterait un atout de poids quant à la concrétisation de ce pilier.

Missions et objectifs

L'objectif de ce projet de fin d'études est d'étudier en détail les étapes permettant d'optimiser les services logistiques douaniers. En effet, cela permettra de rendre le pays plus attractif au niveau de la qualité, du temps d'expédition et des coûts logistiques par rapport aux pays voisins. Ainsi, l'Arabie saoudite pourra se placer en tant que *hub* logistique, permettant l'augmentation de ses recettes liées au transport de marchandises.

Résumé

Afin de répondre à la problématique, mon rapport de projet de fin d'études s'est focalisé sur le transbordement parmi les services logistiques douaniers disponibles (c'est-à-dire import, export, re-export, transit, etc.).

En effet, j'ai montré que le transbordement présente le plus de potentiels à exploiter en Arabie saoudite du fait de sa position stratégique, étant une plaque tournante bordée par la mer Rouge et le golfe Persique.

Par conséquent, un *benchmark* de différents pays a mis en évidence le fait que l'Arabie saoudite pouvait augmenter sa part de marchandises en transbordement en facilitant sa réglementation, en numérisant certains processus et en optimisant le rôle des différentes parties prenantes.

Ainsi, j'ai modelisé le processus optimal de la chaîne logistique de l'arrivée et de la sortie de marchandises en transbordement qui sera prochainement implémenté.



Port de Jeddah © Ammar Shaker, 2006, CC-BY-SA (source : Wikimedia commons).

Implementation study of a logistic platform in the GCC

Logistical platform • Freight transport • Transshipment

Context

The government of Saudi Arabia launched in April 2016 the program Vision2030. This program is based on three pillars, including that of making the Kingdom a logistics platform linking the Asian, European and African continents. Among the projects at stake, the optimization of logistics services would represent a major asset in the realization of this pillar.

Missions and goals

The objective of this final year project is to examine in detail the steps to optimize the logistical services. This will make the country more attractive in terms of quality, shipping time and logistical costs compared to its neighboring countries.

Thus, Saudi Arabia will be able to position itself as a logistics hub, allowing the increase of its revenues related to the transport of goods.

Abstract

In order to address the problem, my final year project focused on the transshipment among the available customs services (i.e. import, export, re-export, transit, etc).

As a matter of fact, I noticed that the transshipment of goods had the most potential to be leveraged in

KSA due to its strategic location, since it is considered as a hub bordering the Red Sea as well as the Persian Gulf.

Therefore, I conducted a benchmark highlighting the fact that KSA could increase its volume of transhipped goods by easing its regulation, digitizing some processes, and optimizing the stakeholders' roles.

Thus, I designed the optimal supply chain of the transshipment goods (both at the entry and the exit of Saudi ports), which will be implemented soon.



Volume de marchandises en transbordements dans les ports du Moyen-Orient ('000 TEU) © Anis Hannouche, 2019. Fond de carte © les contributeurs d'OpenStreetMaps, CC-BY-SA.

Aménagement et
urbanisme
Regional and Urban
Planning

Appels d'offres,
financement
de projets
d'infrastructures
Tenders, Infrastructure
Project Finance

Énergies
Energies

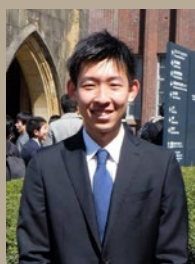
Environnement,
développement
durable
Environment,
Sustainable
Development

Gestion de l'eau
Water Management

Transports et
logistique
Transportation
and Logistics

Éléments de bibliographie

Container Market Annual Review and Forecast 2018/2019, Quarter 3, Drewry Maritime Research.
One Hundred Ports 2018, Maritime Intelligence, Lloyd's List.



Yusuke KUMAKOSHI

Élève ingénieur double diplôme
Université de Tokyo, Japon

Promotion 2019

Mission recherche réalisée à
Université de Tokyo

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Takashi OGUCHI, professeur

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Fabien LEURENT, chercheur, LVMT, École des Ponts ParisTech



Étude d'impact des véhicules autonomes partagés sur la demande de parking dans la ville

Demande de parking • Véhicules autonomes • Simulation dynamique du trafic

Contexte

Les véhicules autonomes vont entraîner divers effets sur le système de transport : des aspects négatifs comme une congestion routière renforcée, et des aspects positifs comme une réduction de la demande de stationnement dans la ville. Or, ce dernier point n'a jamais été estimé en tenant compte du flux dynamique du trafic. Afin de bien évaluer l'impact de ce nouveau mode de transport, il est nécessaire d'élaborer un outil permettant d'estimer conjointement ces deux éléments : demande de parking et flux dynamique du trafic.

Missions et objectifs

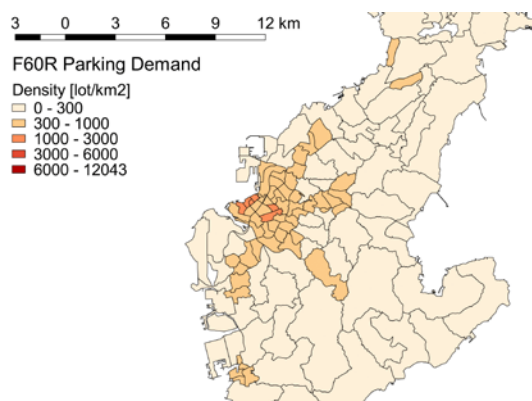
La mission de ce projet de fin d'études était d'établir une simulation du flux dynamique du trafic intégrant la demande de stationnement, qui permette d'évaluer l'impact des véhicules autonomes partagés sur ces deux aspects. En se basant sur les résultats quantifiés, ce projet de fin d'études a également pour but de tirer des enseignements pour la planification du transport urbain à l'ère des véhicules autonomes partagés.

Résumé

La simulation comprend un simulateur existant (SOUND) et le répartiteur des SAVs (Shared Autonomous Vehicles – véhicules autonomes partagés), qui a été développé pour ce projet de fin d'études. Partant de l'hypothèse que la demande de déplacement effectué par des véhicules privés aujourd'hui soit complètement couverte par le système de SAVs, le répartiteur crée un plan d'affectation des véhicules aux passagers (*Matching*) et déplace les véhicules vacants (*Relocation*), en anticipant la future demande. Pour cette étude, les données de l'île principale d'Okinawa, Japon, pendant les heures de pointe du matin sont utilisées. La situation actuelle ainsi que des scénarii avec SAVs sont simulés et comparés.

Il s'est avéré que les SAVs réduiraient environ 80% de la demande de parking sur l'ensemble de la zone d'étude. Le profit de cette réduction est estimé en termes de gain de superficie, supposant une transformation des usages du sol. D'un autre côté, une détérioration de la performance du réseau routier a été confirmée, à la fois par la vitesse moyenne de déplacement réduite, et par une augmentation de la distance parcourue. L'impact de cet aspect négatif est estimé à un surplus du coût généralisé assumé par les passagers dont la différence est égale à 6,5% de celui de la situation actuelle. Toutefois, d'autres influences sur les véhicules et les infrastructures, notamment leur coût de maintenance, doivent être prises en compte à travers une étude plus approfondie.

Ces résultats soulignent l'importance de considérer en même temps les dimensions territoriale et circulaire dans la planification des systèmes de transport.



Demande de parking avec véhicules autonomes partagés © Yusuke Kumakoshi, 2019.

An impact study of shared autonomous vehicles on parking demand in urban areas

Parking demand · Autonomous vehicles · Dynamic traffic simulation

Context

Autonomous vehicles will have various effects on the transport system, including negative aspects such as increased traffic congestion and positive aspects such as reduced demand for parking in the city. However, this last point has never been estimated considering dynamic traffic flows simultaneously. In order to precisely assess the impact of this new transport mode, it is necessary to develop a tool to measure impact on both sides: parking demand and dynamic traffic flow.

Missions and goals

Develop a dynamic traffic flow simulation which estimates parking demand and assesses the impact of shared autonomous vehicles on parking demand and traffic flow. Based on the quantified results, this final year project also aims to draw lessons for urban transport planning in the era of shared autonomous vehicles.

Abstract

The simulation includes an existing simulator (SOUND) and the SAVs (Shared Autonomous Vehicles) Dispatcher, which was developed for this thesis. Assuming that travel demand made by private vehicles today is fully covered by SAVs, Dispatcher generates a plan for assigning vehicles to passengers (Matching) and to move vacant vehicles (Relocation), by anticipating the future trip request. For this study, data from the mainland of Okinawa, Japan, during morning rush hour is used. The current situation as well as scenarios with SAVs are simulated and compared.

It was found that SAVs reduce around 80% of the parking demand throughout the study area. The benefit of this reduction is estimated in terms of gain in area, assuming a transformation of land uses. On the other hand, a deterioration in the performance of the road network has been confirmed, both by the reduced average travel speed and by an increase in the distance traveled. The impact of this negative aspect is estimated at an excess of the generalized cost of passengers, the difference of which is equal to 6.5% of that of the current situation. However, other influences on vehicles and infrastructure, especially their maintenance cost, must be taken into account when conducting a more in-depth study.

These results highlight the importance of considering the territorial and circular sides of introducing SAVs at the same time.



Vitesse moyenne avec véhicules autonomes partagés © Yusuke Kumakoshi, 2019.

Aménagement et urbanisme
Regional and Urban Planning

Appels d'offres, financement de projets d'infrastructures
Tenders, Infrastructure Project Finance

Énergies
Energies

Environnement, développement durable
Environment, Sustainable Development

Gestion de l'eau
Water Management

Transports et logistique
Transportation and Logistics

Éléments de bibliographie

FAGNANT, Daniel J. et KOCKELMAN, Kara M., 2014. The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* [en ligne], 2014, vol. 40, pp. 1-13. DOI 10.1016/j.trc.2013.12.001 [consulté le 29 avril 2020].

HÖRL, S., RUCH, C., BECKER, F., FRAZZOLI, E. et AXHAUSEN, K. W., 2019. Fleet operational policies for automated mobility: A simulation assessment for Zurich. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* [en ligne], 2019, vol. 102, pp. 20-31. DOI 10.1016/j.trc.2019.02.020 [consulté le 29 avril 2020].

ZHANG, Wenwen, GUHATHAKURTA, Subhrajit, FANG, Jinqi et ZHANG, Ge, 2015. Exploring the impact of shared autonomous vehicles on urban parking demand: An agent-based simulation approach. *Sustainable Cities and Society* [en ligne], 2015, vol. 19, pp. 34-45. DOI 10.1016/j.scs.2015.07.006 [consulté le 29 avril 2020].



Marion OKUNOWSKI

Élève ingénieure concours BCPST
MSc Transport, Infrastructure and Logistics, université de technologie de Delft, Pays-Bas

Promotion 2019

Mission en entreprise réalisée à :
SNCF Réseau

Tutrice professionnelle • *Organization Tutor* :
Hajar TALEB, ingénieure développement d'outils

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Françoise MANDERSCHIED, directrice du Mastère spécialisé® Systèmes de transports ferroviaires et urbains, École des Ponts ParisTech



Gérer un complexe ferroviaire

La planification des mouvements techniques du Produit Train

Exploitation ferroviaire • Mouvement technique • Gare • Capacité

Contexte

Les gares françaises sont de plus en plus saturées. Il est nécessaire de trouver des solutions pour libérer de la capacité afin d'accueillir de nouveaux trafics pour faire face à l'augmentation prévue du nombre de voyageurs. Dans la gare, les mouvements techniques en particulier, qui sont des circulations de trains vides de voyageurs, sont porteurs d'enjeux importants.

Missions et objectifs

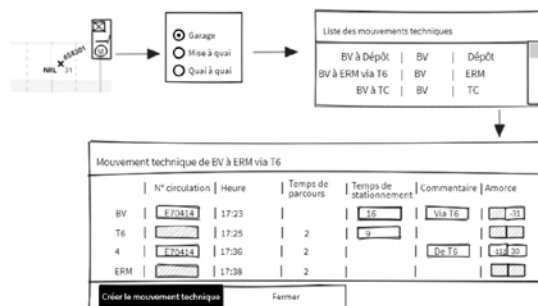
SNCF Réseau a développé un outil d'optimisation du placement des trains dans les gares, OpenGOV. OpenGOV produit un graphique d'occupation des voies pour une gare donnée respectant le maximum de ces contraintes. Pour construire un graphique d'occupation des voies robuste, il est important d'intégrer les mouvements techniques dans la modélisation. Pourquoi et comment mieux intégrer les mouvements techniques dans la planification du service annuel ?

Résumé

Les mouvements techniques sont nécessaires pour exploiter la gare car ils permettent de libérer temporairement de la place à quai ou de réaliser la maintenance des trains. Bien que très consommateurs en capacité, ces mouvements ne sont pas encore suffisamment pris en compte dans les phases de planification, et laissés à l'expertise de l'opérationnel. Lorsque ces mouvements sont planifiés, ils n'ont pas toujours lieu à l'heure prévue, car les agents opérationnels modifient l'ordonnancement des circulations à court terme.

Trois axes de travail pour mieux prendre en compte les mouvements techniques lors de la planification peuvent être mis en avant. Premièrement, il est important de

repenser le processus de planification stratégique du plan de transport afin de minimiser en amont les impacts des mouvements techniques. Par ailleurs, le développement d'outils d'aide à la décision pour la conception du plan de transport permettrait de mieux prendre en compte les mouvements techniques et de recentrer le cœur de métier des agents concepteurs sur la prise de décisions plutôt que la saisie de modifications. Par exemple, l'outil OpenGOV développé par SNCF Réseau permettrait aux agents d'identifier plus facilement des conflits liés à des mouvements techniques en amont dans le plan de transport et de simplifier leur saisie qui est aujourd'hui fastidieuse. Enfin, une meilleure communication entre les acteurs est primordiale. Ceci passe par l'interconnexion des outils de planification mais aussi par de la sensibilisation, notamment des agents opérationnels, sur l'importance et les enjeux liés à la ponctualité des mouvements techniques.



Esquisse interface utilisateur OpenGOV - Création d'un mouvement technique © Marion Okunowski, 2019.

Managing a railway complex

Planning shunting movements

Railway operations • Train shunting • Train station • Capacity

Context

French railway stations are increasingly saturated. It is necessary to find solutions to free up capacity to accommodate new traffic to cope with the expected increase in passengers. In the station, shunting movements in particular, which are the movements of empty passenger trains, raise important issues.

Missions and goals

SNCF Réseau has developed a tool for optimising the positioning of trains in stations, OpenGOV. OpenGOV produces a track occupancy graph for a given station that respects the maximum of constraints. To build a robust track occupancy graph, it is important to integrate shunting movements into the modeling. Why and how can shunting movements be better integrated into annual service planning?

Abstract

Shunting movements are necessary to operate the station because they make it possible to temporarily free up platform space or to carry out train maintenance. They use up a lot of capacity, by increasing the number of movements required to move a train from the platforms to the depot, for example. These movements are not yet sufficiently taken into account in the planning phases, and are left to the expertise of the operational staff. When these movements are planned, they do not always take place at the scheduled time because

operational staff change the scheduling of movements at the last minute.

Three areas of work to better take into account shunting movements during planning can be highlighted. Firstly, it is important to rethink the strategic planning process for the transport plan in order to minimise the impact of shunting movements upstream. In addition, the development of decision support tools for transport plan design would make it possible to better take into account shunting movements and refocus the core business of design staff on decision making rather than on data entering. For example, the tool OpenGOV developed by SNCF Réseau would make it easier for staff to identify conflicts linked to shunting movements upstream in the transport plan, and simplify their input, which is currently tedious. Finally, better communication between the stakeholders is essential. This requires the interconnection of planning tools but also raising awareness of the importance and the stakes involved in the punctuality of shunting movements, particularly among operational staff.



Trains au dépôt de Sotteville © Patrick Janicek 2017, CC-BY 2.0 (source : Flickr).

- Aménagement et urbanisme
- Regional and Urban Planning
- Appels d'offres, financement de projets d'infrastructures
- Tenders, Infrastructure Project Finance
- Énergies
- Energies
- Environnement, développement durable
- Environment, Sustainable Development
- Gestion de l'eau
- Water Management
- Transports et logistique
- Transport and logistics

Éléments de bibliographie

BACOT, Marie-Anne, 2015. *Les noeuds ferroviaires et leur prise en charge opérationnelle* [en ligne]. Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD). Rapport n°008354-03. Disponible à l'adresse : https://cgedd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/Affaires-0007357/008354-03_rapport.pdf (consulté le 7 avril 2020).

OURLIAC, Jean-Paul, 2015. *Recommandations du conseil scientifique des observatoires de la saturation ferroviaire* [en ligne]. Conseil général de l'environnement et du développement durable. Rapport n°009772-01. Disponible à l'adresse : <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/154000500.pdf> (consulté le 7 avril 2020).

GAUTIER, Pauline, 2018. *Établir une méthodologie de pilotage de refonte de grilles horaires en Ile-de-France en co-construction avec les territoires*. Thèse professionnelle : Mastère Spécialisé® Systèmes de transports ferroviaires et urbains. Champs-sur-Marne : École des Ponts ParisTech, 74 p.



Ignacio SÁNCHEZ D'OCON

Élève ingénieur double diplôme
Universitat Politècnica de València, Espagne

Promotion 2018

Mission recherche réalisée à
Universitat Politècnica de València

Tutrice professionnelle • *Organization Tutor* :
María Rosa ARROYO LÓPEZ, enseignante, Universitat Politècnica de València

Tutrice académique • *Academic Tutor* :
Zoi CHRISTOFOROU, enseignante, École des Ponts ParisTech



Propositions d'amélioration du réseau de transport en commun métropolitain à Valence

Intégration tarifaire • Modèle de choix discrets •
Mobilité métropolitaine • Transport en commun

Contexte

L'aire métropolitaine de Valence comprend plusieurs modes et lignes de transport en commun qui ne sont pas totalement intégrés au niveau des tarifs, ce qui pénalise les habitants qui résident loin de la capitale et qui rend difficile la mobilité multimodale, en favorisant l'utilisation du véhicule privé.

Missions et objectifs

L'objectif de ce projet de fin d'études est d'optimiser le système tarifaire des transports en commun métropolitains de Valence pour offrir une option plus intéressante que les véhicules privés et promouvoir l'utilisation du réseau. Ce projet comprend une analyse de la mobilité métropolitaine, la modélisation du choix entre modes publics et privés, la proposition de scénarios de modification de la structure tarifaire et l'étude de l'impact de ces options.

Résumé

La région métropolitaine de Valence s'est développée rapidement au cours des dernières décennies, mais à ce jour les modes de transport en commun ne constituent pas toujours une solution pratique par rapport aux véhicules privés, c'est pourquoi les usagers ont tendance à privilégier cette dernière option. Ce projet de fin d'études donne un aperçu global du contexte de la mobilité métropolitaine, en identifiant les principaux modes (bus urbains, bus interurbains, lignes de métro et tramway, trains régionaux), leurs coûts et les tendances des usagers. Cela permet d'observer les obstacles actuels au niveau des tarifs, qui pénalisent notamment ceux qui sont plus éloignés de la capitale dans leurs déplacements quotidiens. Ensuite, nous analysons les facteurs qui conduisent les utilisateurs potentiels à décider entre les modes privés et publics grâce à un modèle de choix discrets. Cet outil

permet d'évaluer plusieurs variables et leur sensibilité : il est apparu que la plus significative était le coût des transports, mais il y a d'autres variables comme le sexe ou le motif du voyage qui impacteraient aussi le choix du mode. Ensuite, l'étude propose trois scénarios de modification de la structure tarifaire actuelle, qui réduisent les coûts pour les usagers et qui permettent de capter de nouveaux voyageurs qui utilisaient des véhicules privés (demande induite). L'option la plus conservatrice est l'incorporation des titres multimodaux qui n'existent pas à ce jour, le scénario intermédiaire réorganise toutes les typologies de titres pour les réduire à trois options et la plus ambitieuse propose un seul tarif forfaitaire. Toutes les alternatives font l'objet d'une analyse économique pour déterminer leur mise en place potentielle. Cela montre la relation directe entre optimisation du système et réduction des coûts pour les usagers, mais aussi la nécessité, pour le gestionnaire, de compenser les déficits financiers additionnels qui sont générés.



Réseau de transport en commun métropolitain de Valence, Espagne © Ignacio Sánchez D'ocon, 2020. Fond de carte © les contributeurs d'OpenStreetMaps, CC-BY-SA.

Proposals to improve the metropolitan public transport network in Valencia

Fare integration • Discrete choice model •
Metropolitan mobility • Public transport

Context

The metropolitan area of Valencia includes different public transport modes and lines which are not fully integrated in terms of fares. This penalises those metropolitan users who live far away from the capital and hinders multimodal mobility, thus fostering the use of private vehicles.

Missions and goals

The objective of the final year project is to optimise the fare structure of the metropolitan public transport modes in Valencia in order to offer a more attractive option than private vehicles, as well as to reduce fares to promote the use of the network. The document includes an analysis of the metropolitan mobility, the preparation of a model to explain the choice between public and private modes, the proposal of several scenarios to modify the fare structure and assessment of their impact.

Abstract

The metropolitan area of Valencia has grown rapidly over the last decades, but public transport is still not a practical solution when compared to private vehicles, which is why users tend to favour this last option. The final year project gives a global overview of the context of metropolitan mobility, identifying the main modes (urban buses, interurban buses, metro and tramway lines and regional trains), their costs and user trends. This allows to understand the current obstacles in terms of fares, which penalise especially those living further away from the capital in their daily trips. Then, the document explains which factors

lead potential users to decide between private and public modes by defining a discrete choice model. This tool makes it possible to assess several variables and their sensitivity, finding that the most relevant would be the cost, but others such as gender or the motive of the journey would also have an impact on the choice. Moreover, the study proposes three scenarios which modify the current fare structure, reduce costs for users and capture new travelers who previously used private vehicles (induced demand). The most conservative proposal adds the multimodal titles that are currently missing, the intermediate one reorganises all types of titles to reduce them to three options and the most ambitious one offers a single flat rate. All alternatives are assessed from an economic perspective to determine their potential implementation. This shows the direct relationship between optimising the system and reducing costs for users, but also the need to cover the additional financial deficits that are generated.



Station de métro à Valence, Espagne © Diary La Veu (metro de Valencia EMT - Ulisses Ortiz), 2017, CC-BY-NC-SA 2.0 (source : Flickr).

• Aménagement et
• urbanisme
• Regional and Urban
• Planning

• Appels d'offres,
• financement
• de projets
• d'infrastructures
• Tenders, Infrastructure
• Project Finance

• Énergies
• Energies

• Environnement,
• développement
• durable
• Environment,
• Sustainable
• Development

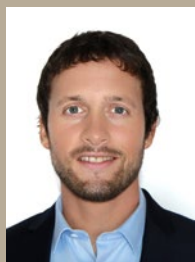
• Gestion de l'eau
• Water Management

• Transports et
• logistique
• Transportation
• and Logistics

Éléments de bibliographie

GENERALITAT VALENCIANA, 2018. *Plan Básico de Movilidad del Área Metropolitana de València* [en ligne]. PMoMe Valencia. Disponible sur https://0193b372-e436-4ee4-9abb-f4441ae762d5.filesusr.com/ugd/e0fo3f_6fd-d96599a394f869b109201a9426ccf.pdf [consulté le 09.02.2020].

ARROYO LÓPEZ, María Rosa, RUIZ SÁNCHEZ, Tomás, 2019. *Modelización del transporte: modelos de elección discreta* [en ligne]. Máster Universitario en Transporte, Territorio y Urbanismo. Universitat Politècnica de València. Disponible sur <https://poliformat.upv.es> [consulté le 21.02.2020].



Rodrigo Emanuel VEGLIO SALIMBENI

Élève ingénieur double diplôme
Facultad de Ingeniería, université de Buenos Aires, Argentine

Promotion 2018

Mission en entreprise réalisée à :
Vinci Airports

Tuteur professionnel • *Organization Tutor* :
Massimo BRUZZO, directeur de projet

Tuteur académique • *Academic Tutor* :
Dominique JACQUET, président du département Sciences économiques,
gestion, finance, École des Ponts ParisTech



L'impact de la régulation économique des aéroports sur leur valorisation

Régulation économique • Aéroport • Valorisation • Fusion-acquisition

Contexte

Les aéroports, acteurs clés des économies modernes, ont subi divers processus de commercialisation, de privatisation et de diversification de propriété au cours des dernières décennies. En raison du transfert vers le secteur privé d'un nombre important d'aéroports, la régulation économique du secteur est devenue fondamentale. Elle vise à corriger les défaillances du marché, prévenant tout abus de position dominante. Les principaux mécanismes de régulation existants sont celui de la « caisse unique », favorisé par les compagnies aériennes, et celui de la « caisse double », défendu par les représentants des aéroports.

Missions et objectifs

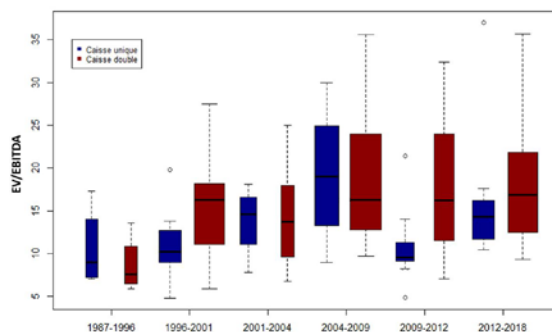
Étant donné l'évolution vers des nouveaux modèles de propriété et le nombre croissant de transactions d'aéroports à travers le monde, l'évaluation appropriée de leur valeur devient de plus en plus importante. L'objectif de cette étude est de déterminer l'impact des différents types de régulation économique sur la valeur d'entreprise d'un aéroport.

Résumé

Compte tenu des limitations des méthodologies existantes pour la détermination de la valeur des aéroports, cela a été étudié à travers deux méthodes différentes, premièrement en réalisant une analyse statistique des transactions passées appliquant la méthode des multiples de transaction. Cela a été possible grâce à la construction d'une base de données répertoriant 165 transactions réparties sur 40 pays sur la période allant

de 1987 à 2017. Deuxièmement, les résultats obtenus ont été vérifiés en analysant le cas d'Aéroports de Paris (ADP) selon la méthode des *Discounted Cash Flows* (DCF).

Il a été possible de quantifier l'impact des mécanismes principaux de régulation sur la valeur des aéroports. En effet, les investisseurs privés valorisent davantage les aéroports régulés en double caisse ou en caisse aménagée. Sous réserve des limites des méthodes appliquées, on peut affirmer que l'impact du mécanisme de régulation sur la valeur d'entreprise d'une société aéroportuaire est de 2 à 3 fois son EBITDA (*earnings before interest, taxes, depreciation, and amortization*). Outre le régime de caisse appliqué, la régulation économique peut prendre des formes différentes, parmi lesquelles celles qui sont basées sur une approche légère sont associées à des multiples de transactions plus élevés.



Évolution historique des multiples de transaction selon la régulation économique © Rodrigo Emanuel Veglio Salimbeni, 2019.

The impact of economic regulation on the value of airport assets

Economic regulation • Airport • Valorization • M&A

Context

Airports, key players in modern economies, have undergone various processes of commercialization, privatization and diversification of ownership in recent decades. Given this increasing tendency for private participation in airport management, public authority intervention through economic regulation is necessary to protect the interests of users, preventing any abuse of dominant position. The main existing regulatory mechanisms are that of the "single till", favored by the airlines and that of the "double till", defended by airport representatives.

Missions and goals

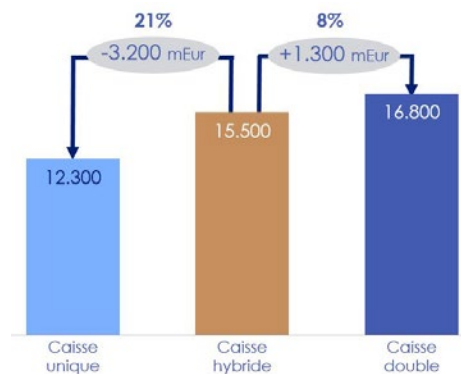
Given the evolution towards new ownership models and the increasing number of airport transactions around the world, the proper assessment of their enterprise value is becoming increasingly important. The objective of this study is to determine the impact of different types of economic regulation on the value of an airport asset.

Abstract

Given the limitations of existing methodologies for determining the value of airport assets, this has been studied through two different methods, firstly by conducting a statistical analysis of transactions applying the method transaction multiples. For this purpose, a database of 165 transactions in 40 countries, from 1987 to 2017 was built. Secondly,

we studied the case of Aéroports de Paris, using the Discounted Cash Flows (DCF) method in order to verify the obtained results.

Indeed, private investors value airports with a "single till" regulation. Subject to the limitations of the applied methods, it can be said that the impact of the regulatory mechanism on the enterprise value of an airport company is 2 to 3 times its EBITDA (earnings before interest, taxes, depreciation, and amortization). In addition to the applied regulatory till, economic regulation can take different forms, including those considered as "light-handed", which are associated with higher transaction multiples.



Valeur d'entreprise (mEUR) et multiples de transaction d'ADP pour différents mécanismes de régulation © Rodrigo Emanuel Veglio Salimbeni, 2019.

Aménagement et urbanisme
Regional and Urban Planning

Appels d'offres, financement de projets d'infrastructures
Tenders, Infrastructure Project Finance

Énergies
Energies

Environnement, développement durable
Environment, Sustainable Development

Gestion de l'eau
Water Management

Transports et logistique
Transportation and Logistics

Éléments de bibliographie

Airport ownership, economic regulation and financial performance, 2017. Policy Brief. Airports Council International (ACI).
GRAHAM, Anne et MORRELL, Peter S, 2017. Airport finance and investment in the global economy. New York : Routledge, 332 p.

Doc 9562 : Manuel sur l'économie des aéroports, 2013, 3^e édition. Montréal : OACI.

Index des diplômés

Alumni Index

- ABOU CHEDID Caline 50
AFILAL Khansaa 204
ALBERGE Léo 206
ALEXAN Cristina 90
ALVAREZ CUESTA Moises 30
AMIOT Casimir 260
APARICIO Jonas 166
ASSAD Mehdi 72
AUGUSTE Charles 208
AZZAZ Ryan 262
BASTARD Pierre 264
BEKHOUCHE Marion 152
BEL-HOUARI Inass 290
BELLANCOURT Quentin 92
BEN AMMAR Khadija 32
BELLERA ARBOS Clara 308
BENKABBOUR Youssef 182
BEN KHODJA Arbia 184
BONNECHÈRE Séverine 134
BORISOVA NENOVA Maria 70
BORRITS Charlotte 94
BOUCHARD Rémi 170
BRECH Lucas 138
BRESSY Claire 74
BRICHOT Antoine 172
BRINGER Gaspard 146
BUI Thi Hong Nhung 34
BUTTERA Giuliano 296
CANELA GOMÀ Ignacio 52
CARON Richard 162
CAUVIN Xavier 164
CHAMPAGNE Aurore 96
CHÉRUBIN Marion 276
CHOMEL Victor 210
CHU Xuan Bach 80
CLIVIO Oscar 212
CORTIER Clément 186
CORVISIER Jean-Christophe 214
COURET Apolline 98
DE BOIS Aurélien 54
DECOTTIGNIES-DIENNE Adrien 148
DELOORO Yonatan 216
DENG Haozhu 56
DERKAOUI-HASSANI Mohammed Amine 58
DE SOUZA LAGES Kaio 36
DI STEFANO Giulia 100
DO COUTO RODRIGUES Gabriel Afonso 310
DUCHEMIN Quentin 218
DUFRESNOY Marc 294
ÉRARD Solène 140
ERREGUI Mohammed 174
FAHLAOUI Sarah 76
FERMANIAN Christelle 142
FERRIGNO Andrea 38
FLAMENCOURT Brice 236
FRANÇOIS Antoine 242
GALVAGNE Benjamin 136
GARREC Mathis 154
GAS Clémentine 196
GAUTHIER Lucas 298
GHAZI Imane 176
GIRARDON Chloé 102
GIRSCHIG Côme 282
GONZALEZ RODRIGUEZ Aroa 26
GOURSAT Laure 256
GÜEMES MARTÍNEZ Marta 84

GUIMERA TENA Javier **312**
HANNOUCHE Anis **314**
HARDY Clément **246**
HARIAT Marwane **220**
HOGREL Adrien **188**
HÔ Vinh Quynh **104**
JONCHERAY Augustin **60**
JOUY Augustin **106**
JUSTO PEREIRA Mariana **156**
KASHTANOVA Victoriya **248**
KEMPLIN Gaspard **238**
KHELDOUNI Mohammed Amine **222**
KOSKAS Rémy **224**
KUMAKOSHI Yusuke **316**
LAFOUX Baptiste **194**
LAMBERT Léopold **144**
LE DU Pierre **258**
LEFORT Lucie **86**
LEINER Emma **250**
LEROUGE Mathieu **108**
LEULIET Théo **268**
LI Chenlu **304**
LOULOU Zakariya **198**
LOUYOT Max **180**
MAACHA Yanis **178**
MACAUDIÈRE Marion **110**
MAGRÉ Jean-Guillaume **284**
MAILLARD Julia **300**
MAKHLOUF Katia **62**
MARTIN Frédéric **270**
MEJIA GOMEZ Alejandra **150**
NÉRON Laurane **112**
NEVES ALVES FERREIRA Gabriel **114**
NICOLAS Matéo **116**
NISTAL IGLESIAS Pablo **118**
NOUREANU-BUCUR Georgiana **78**
OKUNOWSKI Marion **318**
OREISTEIN Pierre **226**
OSSOINAK KLICH Ivan **292**
OUEDRAOGO Missom **40**
PARRE Anatole **228**
PETIT Romain **230**
PHAM Truong Son **120**
PIOTRAUT Michael **64**
PONT Émilien **28**
RENGOT Juliette **232**
RIBEIRO LIMA Victor Augusto **42**
RIGAL Olivier **244**
ROCHA BOTELHO Lucas Magno **44**
ROUBAUD Félix **272**
ROULIER Lorraine **302**
SAAD Johnny **66**
SAAD Samir Nasser **88**
SALESSE Bastien **68**
SÁNCHEZ D'OCON Ignacio **320**
SANCHIZ RODRIGUEZ-BOBADA Javier **280**
SCHMIDT Anna **122**
SHEN Yuxiang **46**
SHI Aurélie **278**
SIMONE Roberta **124**
SIMONNOT Olivier **168**
TA Thi Ngoc Thuy **48**
TENELEMA MUÑOZ Fernando Josue **126**
THÉSÉ Matthieu **128**
TILLET Robinson **266**
TILLOY Louis **234**
TORRES SERRANO José Manuel **82**
VADILLO FERNANDEZ Nerea **274**
VEGLIO SALIMBENI Rodrigo Emanuel **322**
VIALON-GALINIER Léo **190**
YANG Xue **192**
ZHAO Tong **240**
ZHOU Changyuyi **306**

Index des organismes

Index of organizations

- Aecom **62**
- Air France **134**
- Alliages & Territoires **64**
- Andritz Hydro **180**
- Arcane **262**
- ArcelorMittal Luxembourg **72**
- Arcora **114**
- AREP **116**
- Association Saint Camille de Lellis **26**
- A.T. Kearney **314**
- AXA **274**
- Banque centrale européenne **284**
- Banque Hottinguer **278**
- Banque internationale à Luxembourg (BIL) **222**
- BearingPoint **176**
- BIEP - Eiffage Infrastructures **36**
- BNP Paribas **204**
- Bollinger + Grohmann **122**
- Bouygues, Ouvrages publics **54**
- Bsport **272**
- CERMICS **230**
- Chantiers de l'Atlantique **170**
- Cinesi SLU **308**
- CIRRELT **242**
- Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) **120**
- Création d'entreprise **136**
- CREATIS **268**
- Criteo **228**
- Dassault Systèmes **214**
- Diagma **154**
- Digital Value **260**
- Direction générale de la Prévention des risques, ministère de la Transition écologique et solidaire **190**
- Dirisolar **166**
- DORIS Engineering **104**
- DVVD **96**
- Eckersley O'Callaghan **106**
- École d'Économie de Paris **270**
- EDF R&D **246**
- Efficacity **86**
- Egis Structure & Environnement **40**
- Eiffage Concessions **50, 68, 148, 150**
- Eiffage Génie Civil **182**
- Eiffage Infrastructures **174**
- Eiffage Métal **74, 100**
- ETSI Caminos, Canales y Puertos **82**
- Faurecia Interior Systems **192**
- Freyssinet International & Cie **80**
- Gaz Réseau Distribution France (GRDF) **264**
- GE HealthCare **248**
- Géodynamique & Structure **30**
- GEOS Ingénieurs Conseils **32, 44**
- GIPSA-lab **232**
- Groupement Horizon (Bessac), lot T3A du Grand Paris **52**
- Home Delivery Services **266**
- Hôpital Marie Lannelongue **206**
- HSBC France **280**
- IMMA France **310**
- Impulse Partners **140**
- IMSIA **194**
- Ingecid **118**

INRIA, équipe MATHERIALS **238**

INRIA Sophia Antipolis-Méditerranée **240**

Institut des systèmes complexes de Paris Île-de-France (ISCFIP) / CNRS **210**

Investir&+ **302**

Laboratoire de mathématiques d'Orsay **236**

Laboratoire Kawaguchi, IIS, université de Tokyo **76**

Laboratoire Miyata, université de Tokyo **188**

Laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech **38, 102, 108**

LATMOS (Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales) **300**

LEESU **304**

Les Alchimistes **298**

LocalSolver **244**

Louis Berger **56**

Louis Vuitton Americas **152**

Manufacture française des pneumatiques Michelin **184**

Marc Mimram ingénierie **28, 92**

Materials Engineering Department **186**

Matterport **234**

Metis Consulting **156**

Michelin (Nihon) **162**

Mindsay **216**

Ministère de la Transition écologique et solidaire **282**

Ney & Partners WOW **112**

NYU Center for Data Science **218**

Observatoire de Paris (site de Meudon), laboratoire Univers et Théories (LUTH) **224**

OPEO Startup Studio (OSS) **144**

Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) **306**

Owkin **250**

Padam Mobility **312**

Paris Jourdan Sciences économiques (PjSE) **256**

PwC Advisory **276**

Qivy **88**

RATP Dev **292**

RFR **126**

Riken - Center for Advanced Intelligence Project **226**

RTE **294**

Saipem **168**

Schlaich Bergermann Partner **98, 110**

Setec international **58**

Setec Organisation **60**

Setec TPI **90, 94**

SNCF Réseau **34, 318**

Société générale **258**

Sodern **164**

Sofreco **142**

Spie Batignolles TPCI **70**

Strategy& (formerly Booz&Co) **66**

Susquehanna International Group **208**

Synapscore **138**

Terrasol **42, 46, 48**

T/E/S/S **128**

Thornton Tomasetti Canada **124**

UCAR, JCSDA **196**

Universitat Politècnica de València **320**

Université de Californie (UC) Berkeley **212**

Université de Tokyo **198, 316**

Université polytechnique de Madrid **84**

Valyans Consulting **146**

Veolia Recherche & Innovation **296**

Vinci Airports **290**

Vinci Construction Grands Projets (VCGP) **78**

Vinci Énergies **88**

Wave Computing **220**

WIND my ROOF **172, 178**

Index des thématiques

Analyse et calcul économique 257, 259

Appels d'offres, financement de projets d'infrastructures 291, 293

Apprentissage statistique 205, 207, 209, 211, 213, 215, 217, 219, 221, 223, 225, 227, 229, 231, 233, 235

Bâtiment 27, 29

Calcul de structure / éléments finis 163, 165

Conception / prototypage 167, 169

Conseil et Expertise 261, 263, 265, 267

Data Science 135, 137, 269, 271, 273, 275

Énergies 295

Environnement, développement durable 297, 299, 301, 303

Financement d'entreprises 277, 279

Financement de projets 281

Géotechnique 31, 33, 35, 37, 39, 41, 43, 45, 47

Gestion de l'eau 305, 307

Gestion et financement de projets 49, 51, 53, 55, 57, 59, 61, 63, 65, 67, 69

Ingénierie de projet 171, 173, 175, 177, 179

Innovation et conception 139, 141, 143, 145

Interaction fluide structure 181

Matériaux 183, 185, 187, 189, 191, 193

Mécanique des fluides 195

Méthodes 71

Modélisation 197, 199

Modélisation et optimisation 73, 75, 77, 79

Modélisation numérique et simulation 237, 239, 241

Optimisation et recherche opérationnelle 243, 245

Ouvrages d'art et infrastructures 81, 83

Performance énergétique et environnementale 85, 87, 89

Politiques publiques 283, 285

Processus stochastiques et finances quantitatives 247

Stratégie 147, 149, 151

Structures 91, 93, 95, 97, 99, 101, 103, 105, 107, 109, 111, 113, 115, 117, 119, 121, 123, 125, 127, 129

Supply chain management 153, 155, 157

Transports et logistique 309, 311, 313, 315, 319, 321, 323

Vision numérique 249, 251

Index of subjects

- Buildings* 27, 29
- Computer vision* 249, 251
- Consulting & Auditing* 261, 263, 265, 267
- Corporate Finance* 277, 279
- Data Science* 135, 137, 269, 271, 273, 275
- Design / prototyping* 167, 169
- Economic Calculus and Analysis* 257, 259
- Energies* 295
- Energy and environmental performance* 85, 87, 89
- Engineering structures and infrastructures* 81, 83
- Environment, Sustainable Development* 297, 299, 301, 303
- Finite element modelling* 163, 165
- Fluid mechanics* 195
- Fluid-structure interaction* 181
- Geotechnics* 31, 33, 35, 37, 39, 41, 43, 45, 47, 49
- Innovation & Design* 139, 141, 143, 145
- Machine learning* 205, 207, 209, 211, 213, 215, 217, 219, 221, 223, 225, 227, 229, 231, 233, 235
- Materials* 183, 185, 187, 189, 191, 193
- Methods* 71
- Modelling* 197, 199
- Modelling and optimization* 73, 75, 77, 79
- Numerical modelling and simulation* 237, 239, 241
- Optimization and operations research* 243, 245
- Project engineering* 171, 173, 175, 177, 179
- Project Finance* 281
- Project management and finance* 51, 53, 55, 57, 59, 61, 63, 65, 67, 69
- Public Policy* 283, 285
- Stochastic processes and mathematical finance* 247
- Strategy* 147, 149, 151
- Structures* 93, 95, 97, 99, 101, 103, 105, 107, 109, 111, 113, 115, 117, 119, 121, 123, 125, 127, 129
- Supply chain management* 153, 155, 157
- Tenders, Infrastructure Project Finance* 291, 293
- Transportation and Logistics* 309, 311, 313, 315, 317, 321, 323
- Water Management* 305, 307

Vous avez soutenu en 2019-2020 ? Votre avis sur L'Annuel des projets de fin d'études 2020 nous intéresse.

Rendez-vous sur : http://bit.ly/annuel_pfe_2020
pour remplir notre questionnaire de satisfaction.

Retrouvez l'École des Ponts ParisTech sur les réseaux sociaux



@EcoledesPonts @BibdesPonts



YouTube EcoledesPonts

Merci à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de cet ouvrage : les élèves, les équipes des départements et des directions de l'École.

Conception et réalisation • *Publishing team*

Sandrine Courchinoux, chargée de mission Valorisation, direction de l'Enseignement
Laetitia Mussard, cellule Édition et projets numériques, direction de la Documentation
Catherine Pragnère, chargée de mission, direction de l'Enseignement

Relecture de l'anglais • *English proofreading*

Thomas Harcharik, département Langues et cultures
Clare Lavelle Long, département Langues et cultures

Impression • *Printed at*

Service reprographie

Crédit de couverture • *Cover copyright*

Accueil des 1A (2015) © Philippe Renault - École des Ponts ParisTech.

© 2020

École des Ponts ParisTech
6-8 avenue Blaise Pascal - Cité Descartes
Champs-sur-Marne - F-7-455 Marne-la-vallée cedex 2
ISSN : 2677-9986



L'École des Ponts ParisTech s'est engagée il y a quelques années dans la valorisation des travaux d'élèves. Depuis 2018, l'*Annuel des projets de fin d'études* illustre cette nouvelle dynamique pour les élèves-ingénieurs et ouvre une vision plus globale de leurs réalisations. Ce recueil offre une compilation des résumés inédits des projets de fin d'études réalisés au sein d'un organisme (une entreprise, un laboratoire, une collectivité ou une institution) par les élèves-ingénieurs lors de leur dernière année d'études.

La direction de l'Enseignement et la direction de la Documentation vous proposent ainsi un panorama des travaux réalisés, autour des grandes thématiques qui animent les départements d'enseignement de l'École. Cet *Annuel* permet une appréhension plus fine de la complexité des problématiques et enjeux contemporains, ainsi que de la qualité, de la rigueur, de la richesse et de la créativité qui caractérisent les travaux de fin d'études des élèves-ingénieurs de l'École.

Belle découverte !

In the past few years, École des Ponts ParisTech has become involved in the promotion of student work. Since 2018, the Final Year Project Yearbook illustrates this new dynamic for engineering students and opens up a more global vision of their achievements. This compendium offers a compilation of unpublished summaries of end-of-study projects carried out within an organization (a company, a laboratory, a community or an institution) by engineering students during their final year of study.

The Teaching Department and the Documentation Department thus offer you an overview of the work carried out, around the major themes that animate the School's teaching departments. This Yearbook provides a more detailed understanding of the complexity of contemporary issues and challenges, as well as the quality, rigor, richness and creativity that characterize the final year work of the School's engineering students.

We hope you enjoy discovering our students' accomplishments!

École des Ponts ParisTech

6 et 8 avenue Blaise Pascal
Cité Descartes
Champs-sur-Marne
77455 Marne-la-Vallée cedex 2

www.ecoledesponts.fr

ISSN : 2677-9986