

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

31 mars - 2 avril

Journées des thèses 2015

L'Isle sur Sorgue



DIRECTION DE LA STRATÉGIE, DU DÉVELOPPEMENT ET DES PARTENARIATS

Journées des thèses 2015 L'Isle sur Sorgue

› › › 31 mars - 2 avril

Programme

► Lundi 30 mars

- Accueil – apéritif à partir de 18 h 30
- 20 h 00 ► Dîner

► Mardi 31 mars08 h 20 ► **OUVERTURE DES JOURNÉES THÈSES**

Dominique LE GULUDEC, Présidente.

08 h 45 ► **SESSION PLÉNIÈRE****Migration, accumulation des radionucléides dans l'environnement & transfert vers l'homme**

Patrick BOYER, Modélisation des transferts de radionucléides dans les rivières.

Mouhamadou SY, Quantification des incertitudes sur la simulation des transferts dans l'environnement terrestre de radionucléides émis lors d'un accident et l'évaluation de l'exposition des populations humaines par voie alimentaire.

Alicia CUVIER, Accumulations de l'uranium, de ses descendants et des éléments trace métalliques dans les sols de zones humides autour des anciens sites miniers.

Huong liên NGUYEN, Évolution de la contamination en radionucléides de la zone d'exclusion de Tchernobyl : de la tranchée T22 à l'échelle du bassin versant.

10 h 20 ► Pause

10 h 50 ► **SESSION PLÉNIÈRE****Facteurs humains et organisationnels**

Sarah CARMINATI, Impacts des nouvelles technologies sur les activités en radiothérapie et sur la sécurité des patients.

Jérémy EYDIEUX, Prendre en compte la sécurité gérée dans les évaluations de sûreté : le cas des activités de manutention.

Sylvie THELLIER, À quelles conditions les méthodologies participatives d'étude des risques peuvent-elles construire la sécurité ?

12 h 30 ► Déjeuner

13 h 50 ► **SESSION POSTER**

14 h 50 > SESSION PARALLÈLE

Faibles doses : effets génétiques, études mécaniste et épidémiologique

Aurélié VAURIJOUX, Étude des modifications génétiques et épigénétiques suite à une exposition aux rayonnements ionisants : lien entre dépôt d'énergie et devenir cellulaire.

Kewin GOMBEAU, Études des effets épigénétiques de l'uranium ou d'une irradiation gamma sur le cerveau et les gonades du poisson zèbre : caractérisation de biomarqueurs.

Florian PARISOT, Étude mécaniste de la toxicité des radiations ionisantes chez *Daphnia Magna*.

Yvan EB-LEVADOUX, Identification des ligands biologiques de l'uranium dans les gonades de *Danio rerio* - Impact sur leur fonctionnalité.

Sergey ZHIVIN, Étude épidémiologique des travailleurs du cycle du combustible nucléaire et analyse des effets sanitaires des composés uranifères en fonction de leur solubilité.

14 h 50 > SESSION PARALLÈLE

Combustible et matériaux poreux

Elodie TORRES, Étude de la diffusion de l'hydrogène dans les alliages de zirconium des gaines de combustibles nucléaires et son interaction avec le chargement mécanique.

Nicolas BAUDIN, Évaluation du transfert de chaleur en ébullition en film transitoire.

Yixian ZHOU, Éjection de gaz et de grains suite à la rupture d'un crayon de combustible nucléaire : modélisation de la dynamique.

Lhassan AMARSID, Fragmentation et écoulement des agrégats poreux.

Ange GOURBIL, Caractérisation d'un écoulement diphasique dans un milieu poreux modèle.

Xavier HALLER, Comportement des matériaux nanoporeux : application au combustible UO_2 .

16 h 55 > Pause

17 h 20 > SESSION PLÉNIÈRE

Poussières et explosion

Anthony RONDEAU, Étude de la mise en suspension aéraulique appliquée à la problématique des poussières dans le futur réacteur ITER.

Miriam D'AMICO, Étude expérimentale et modélisation des explosions hybrides solides/solides : application au cas des mélanges de poussières graphite/métaux.

Nicolas THERME, Schémas numériques pour la simulation de l'explosion.

Thomas LE DEZ, Approche par similitude du couplage des effets thermiques et du vent sur les transferts de masse dans les réseaux aérauliques des bâtiments complexes.

19 h 10 > Dîner

20 h 30 > Concours vidéo « ma thèse en 3 min »

➤ Mercredi 1^{er} avril**08 h 30 ➤ SESSION PARALLÈLE****Matériaux : fissuration, fragmentation et vieillissement**

Lionel BICHET, Prise en compte des mécanismes de transports dans la fissuration des matériaux hétérogènes : application à la durée de vie d'exploitation des centrales nucléaires.

Tarik MADANI, Identification expérimentale de modèles thermo-mécaniques de zones cohésives pour des sollicitations complexes.

Jack ARAYRO, Comportement de gaz rares confinés dans une matrice céramique à haute température : modélisation par des approches semi-empiriques.

Ahmedou SIDI, Étude de la dégradation de polymères constitutifs de câbles contrôle commande en ambiance nucléaire.

08 h 30 ➤ SESSION PARALLÈLE**Faibles doses : transports biologiques & effets**

Antoine LE GUERNIC, Impact de la contamination pluri-métallique à tendance uranifère sur le milieu aquatique et conséquences sur les réponses immunitaires et les capacités adaptatives du poisson.

Stefania MUSILLI, Étude des mécanismes d'action du Strontium 90 sur le système immunitaire à la suite d'une contamination chronique.

Marie LEGRAND, Une contamination interne chronique à l'uranium modifie-t-elle le processus de la neurogenèse au cours du développement et à l'âge adulte chez le rat ?

Laure GENIES, Étude des transporteurs impliqués dans l'absorption racinaire et la translocation aux parties aériennes du césium chez *Arabidopsis thaliana*.

10 h 15 ➤ SESSION POSTER**10 h 55 ➤ SESSION PARALLÈLE****Accidents graves**

Rémi CLAVIER, Étude expérimentale et modélisation des pertes de pression lors du renoyage d'un lit de débris.

Sebastian CASTRILLON ESCOBAR, Instabilités et dispersion des jets de corium liquides : analyse des processus physiques et modélisation dans le logiciel MC3D.

Faoulat MIRADJI, Modélisation du comportement du ruthénium lors de son transport dans le circuit primaire.

10 h 55 > SESSION PARALLÈLE

Fortes doses : effets et thérapies

Elodie MINTET, Changements phénotypiques des cellules endothéliales irradiées : implication de la transition endothélium-mésenchyme dans le développement des complications des radiothérapies.

Cyprien JAILLET, Modifications radio-induites du glycome des protéines membranaires endothéliales : implications sur le recrutement des cellules circulantes et sur la thrombose vasculaire dans le tissu irradié.

Benoît USUNIER, Biothérapie du traitement des effets secondaires de la radiothérapie ; étude préclinique du traitement des effets secondaires des radiothérapies abdomino-pelvienne par les Cellules Souches Mésenchymateuses chez le rat Sprague-Dawley dans un modèle d'irradiation fractionnée pelvienne.

12 h 10 > Déjeuner

14 h 30 > SESSION PARALLÈLE

Transfert des radionucléides dans les sols et problématiques de stockage

Nolwenn LESPARRÉ, Imagerie de densité dans les zones de failles de la station expérimentale de Tournemire à l'aide du flux de muons.

Philippines LALAN, Impact de la température sur la géochimie et la diffusion aux interfaces béton/argile dans le stockage des déchets radioactifs.

Sophie GROUSSET, Mécanismes de corrosion sur le long terme en milieux anoxiques - étude physico-chimique des phases soufrées à travers une approche triple : analogues archéologiques, essais *in situ* à la SET et essais en laboratoire.

Mohamed Amine CHERIF, Modélisation dynamique de la (bio)disponibilité des éléments chimiques dans les sols : approche comparative modèles-expériences appliquée au transfert de strontium et de césium dans la ZNS.

14 h 30 > SESSION PARALLÈLE

Accidents graves et incendie

Alexandre DECRETON, Détermination expérimentale et modélisation thermodynamique du système Ag-Zr-In.

Kevin VARRALL, Étude de l'écoulement de convection mixte d'un gaz à densité variable à travers une ouverture horizontale reliant deux compartiments superposés et mécaniquement ventilés - Application à la propagation verticale des fumées d'incendie dans des configurations multi-locaux.

Ahmed KACEM, Modélisation numérique de la pyrolyse en atmosphère normalement oxygénée et sous-oxygénée.

Ahmed MABROUK, Développement d'outils d'aide au diagnostic en contexte incertain : application aux diagnostics de situations accidentelles.

Julien TRINCAL, Modélisation du comportement de l'iode dans l'atmosphère.

16 h 30 > Pause

16 h 45 ▶ SESSION RECHERCHE EXPLORATOIRE

Alexandra SEMONT, Développement d'un modèle de niche hématopoïétique en 3D: un outil technologique pour l'acquisition de nouvelles connaissances scientifiques sur l'aplasie radioinduite.

Hugues PRETREL & Amine KOCHED, Projet PIVFEU - Application de la PIV à grande échelle sur des écoulements lors d'un incendie en milieu confiné et ventilé.

Denis MARO & François GENSDARMES, Développement d'un système de mesure à haute fréquence de la concentration d'un aérosol avec une sélection en taille et une limite de détection compatible avec les concentrations environnementales.

Marc BARRACHIN & François VIROT, BESTAIR: BEryllium Source Term due to an Accident in the ITER experimental Reactor.

Fabien MILLIAT, Développement et maîtrise d'un modèle *in vivo* d'étude de l'implication du compartiment vasculaire dans la physiopathologie des lésions radio-induites.

Fabienne RIBEIRO, Caractérisation des précipités d'hydrures par synchrotron.

20 h 10 ▶ Dîner & Remise des prix de la créativité (recherche exploratoire) et de la meilleure vidéo 3 min.

21 h 30 ▶ Soirée A'DIN « fluo »

➤ Jeudi 2 avril**08 h 40 ➤ SESSION PLÉNIÈRE****Métrologie des rayonnements et mesure de la dose**

Anthony BONFRATE, Doses secondaires aux tissus sains en protonthérapie : évaluation de la dose à proximité du champ de traitement et étude de l'influence des paramètres d'irradiation.

Sylvain MEYLAN, Développement d'un outil de simulation multi-échelle adapté au calcul des dommages radioinduits précoces dans des cellules exposées à des irradiations d'ions légers (proton, alpha et carbone).

Azza HABIBI, Analyse de radioéléments en situation post-accidentelle. Détermination d'émetteurs alpha par couplage chromatographie liquide/ICP-MS.

Hugues PARADIS, Développement d'un système de détection d'émetteurs gamma en coïncidence.

Donovan MAIRE, Développement d'une chambre à projection temporelle utilisant une anode pixélisée pour les références en énergie et en fluence des champs neutroniques de basses énergies.

Benoît SABOT, Étalonnage des instruments de mesure de l'activité volumique du thoron dans l'air.

11 h 10 ➤ Pause**11 h 40 ➤ SESSION PLÉNIÈRE****Sismologie**

Camille DE LA TAILLE, Évaluation de l'activité sismique quaternaire des failles du Jura méridional.

Elif ORAL, Modélisation de la propagation des ondes sismiques en 3D dans des milieux linéaire et non-linéaire.

Vincent PERRON, Évaluation empirique des effets de site : développement d'une méthodologie adaptée aux zones de faibles sismicité.

12 h 45 ➤ CLÔTURE

Jacques REPUSSARD, Directeur général

13 h 15 ➤ Déjeuner

SESSION POSTERS

Doctorants de 1^{ère} année et post-doctorants

Pôle radioprotection : Dosimétrie, Épidémiologie, Radiobiologie, Sismologie,
Risques environnementaux, Transferts dans la géosphère
Sessions le mardi à 13 h 50 et le mercredi à 10 h 15
(résumés pages 136 à 154)

- **Nadia BENABDALLAH**, Apport de la dosimétrie tissulaire et cellulaire dans le traitement des patients par alphathérapie.
- **Cécile DUBOIS**, Approche intégrée des dommages des rayonnements ionisants : de l'ADN aux protéines.
- **Loïc DUCROS**, Variabilité des teneurs en Tritium Organiquement Lié et Carbone 14 au sein des hydrosystèmes continentaux côtiers méditerranéens - Rôle de la qualité de la matière organique.
- **Ikram FATNASSI**, Diffusion de radionucléides en conditions physico-chimiques hors équilibre au travers de roches argileuses indurées : expérimentation vs simulation.
- **Lucie FOURNIER**, Effets sanitaires d'une exposition chronique à de faibles doses de rayonnements ionisants : contribution à l'estimation des risques radio-induits de cancers dans une cohorte française de travailleurs du nucléaire.
- **Sabine HOFFMANN**, Approche hiérarchique bayésienne pour la prise en compte d'erreurs de mesure d'exposition chroniques de rayonnements ionisants dans l'estimation du risque de cancers radio-induits. Application aux mineurs d'uranium.
- **Levent ISBILIROGLU**, Élaboration de stratégies de sélection de signaux accélérométriques pour le calcul du comportement des structures.
- **Jérémy LAVIGNE**, Changements phénotypiques des cellules endothéliales au cours du développement des lésions radiques pulmonaires.
- **Loïc MARTIN**, Devenir du radium et du thallium aux interfaces nappes/rivières dans les environnements miniers.
- **Agustín MOLINERO GUERRA**, Experimental and numerical characterization of the hydro-mechanical behavior of a heterogeneous material, powder/pellets bentonite mixture.
- **Geoffrey PELLERIN**, Quantification des vitesses de dépôt sec et identification des processus d'émissions des aérosols sur des couverts naturels.
- **Hugo RENARD**, Modélisation à pas de temps horaire des transferts de tritium au sein d'un écosystème prairial : caractérisation des flux et analyse de sensibilité.
- **Jackie TAV**, Étude des dépôts par les nuages et les brouillards des radionucléides sur les végétaux.
- **Marie TRIJAU**, L'étude à différentes échelles des mécanismes d'action toxique des radiations ionisantes chez *Daphnia magna*.
- **Catherine YU**, Étude comparative des phénomènes de transport convectifs et diffusifs au sein de l'Argile à Opalines du Mont Terri.

**Pôle sûreté : Combustible, Matériaux, Incendie, Méthodes, Aérosols et filtration,
Facteurs humains et organisationnels**

Sessions le mardi à 13 h 50 et le mercredi à 10 h 15
(résumés pages 155 à 190)

- **Adrien ABBATE**, Simulation expérimentale de l'interaction thermique au sein d'un fluide.
- **David ALIBERT**, Étude de la pyrolyse de matériaux en feu soumis à des régimes de sous-ventilation contrôlée simulant des conditions environnementales réelles d'un foyer en milieu confiné/ventilé.
- **Youssef ALILOU**, Impact sur le colmatage en régime permanent et transitoire des écoulements d'air induits par le plissage des médias filtrants THE.
- **Aryadeep CHAKRABORTY**, Optimization of Passive Autocatalytic Recombiners with respect to gas phase ignition.
- **Elodie CHAUVET**, Étude des interactions iode-peinture dans l'enceinte de confinement de réacteur nucléaire en situation accidentelle.
- **Eric DELAUME**, Méthode de raffinement local adaptatif multi-niveaux pour la fissuration de matériaux hétérogènes.
- **Laura FERRY**, Évaluation des rejets accidentels dans l'installation ITER : Béryllium et Tritium.
- **Nicolas GARLAND**, Méta-modélisation introspective pour l'analyse de phénomènes physiques simulés. Formalisation dans le cadre du krigeage et intégration algorithmique en optimisation et inversion.
- **Romain GROSSEUVRES**, Analyse de propagation de flamme Hydrogène-Air-Vapeur en milieu confiné.
- **Houssam HIJAZI**, Theoretical study of iodine aerosols chemical reactivity in severe accident conditions for a nuclear power reactor.
- **Jacques JABBOUR**, Méthodes d'essais de vieillissement accéléré des bétons à l'échelle des ouvrages.
- **Ankita JADON**, Interaction of sodium fire aerosols with radionuclides in case of a severe accident in sodium cooled reactor.
- **Salima KAISSOUN**, Mécanismes de transfert aéraulique au travers d'ouvertures : application à l'efficacité du confinement dynamique d'enceintes de chantiers.
- **Michaël MANGEON**, Élaboration et mise en œuvre des référentiels techniques pour la régulation des risques nucléaires : le cas des prescriptions en matière d'inondation.
- **Sébastien MARMIN**, Planification adaptative d'expériences et krigeage non-stationnaire : application à la prise en compte des incertitudes dans les études mécaniques en sûreté nucléaire.

.../...

- **Charlène MOULIN**, Étude de l'adsorption des iodes radioactifs (I_2 et $I\text{CH}_3$) par des adsorbants poreux dans différentes conditions de fonctionnement.
- **Dorel OBADA**, Évaluation de rejets moyen-terme en situation accidentelle grave d'un Réacteur à Eau Pressurisée : étude expérimentale de la revaporisation de dépôts de produits de fission (Cs, I).
- **Anthony ONILLON**, Corrélations spatiale et temporelle dans les simulations Monte-Carlo de systèmes neutroniques multiplicateurs : estimation des incertitudes réelles sur les flux locaux de neutrons.
- **Lola SARRASIN**, Mécanismes d'incorporation et de migration du Molybdène dans le dioxyde d'uranium sur-stœchiométrique.
- **Paul-Martin STEFFEN**, Investigation of the operational behaviour of a passive auto-catalytic recombiner under the extreme accident conditions inside the ITER fusion facility.
- **Ali SWAIDAN**, Écoulement diphasique dans un milieu à porosité évolutive.

➤ **Mardi 31 mars**

08h20 - 10h20

Théâtre du Moulin

ACCUEIL

Madame Dominique LE GULUDEC (Présidente de l'IRSN).

SESSION PLÉNIÈRE

**Migration, accumulation des radionucléides
dans l'environnement & transfert vers l'homme**

Président : Denis BOULAUD

Patrick BOYER, Modélisation des transferts de radionucléides
dans les rivières.

Mouhamadou SY, Quantification des incertitudes sur
la simulation des transferts dans l'environnement terrestre
de radionucléides émis lors d'un accident et l'évaluation de
l'exposition des populations humaines par voie alimentaire.

Alicia CUVIER, Accumulations de l'uranium, de ses descendants
et des éléments trace métalliques dans les sols de zones humides
autour des anciens sites miniers.

Huong liên NGUYEN, Évolution de la contamination
en radionucléides de la zone d'exclusion de Tchernobyl :
de la tranchée T22 à l'échelle du bassin versant.

Habilitation à diriger des recherches :
Modélisation des transferts de radionucléides dans les rivières

Chercheur : Patrick BOYER
Laboratoire : PRP-ENV/SERIS/LM2E
Habilitation soutenue le : le 23 janvier 2015 à Cadarache

L'habilitation à diriger des recherches sanctionne la reconnaissance du haut niveau scientifique du candidat, du caractère original de sa démarche dans un domaine de la science, de son aptitude à maîtriser une stratégie de recherche dans un domaine scientifique ou technologique suffisamment large et de sa capacité à encadrer de jeunes chercheurs.

La présentation portera sur la modélisation des transferts de radionucléides dans les rivières. Elle aborde différents travaux de recherche qui ont permis d'affiner la modélisation des processus hydro-sédimentaires qui participent à ces transferts à travers la caractérisation des particules cohésives transportées par les cours d'eau et la prise en compte de la diagenèse des sédiments sur la mobilité par érosion et diffusion interstitielle des stocks sédimentaires.

Dans le contexte d'évènements accidentels tels que ceux de Tchernobyl et de Fukushima, la présentation évoquera les travaux réalisés sur les mécanismes de dépôt sec des aérosols submicroniques à l'interface des cours d'eau et de l'atmosphère et des perspectives de recherche sur la caractérisation du transfert des fractions particulières à l'échelle des cours d'eau et en connexion avec leurs bassins versants.

Sujet de la thèse :

Quantification des incertitudes sur la simulation des transferts dans l'environnement terrestre de radionucléides émis lors d'un accident et l'évaluation de l'exposition des populations humaines par voie alimentaire.

Doctorant :	Mouhamadou SY
Date du début de la thèse :	11/02/2013
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/LM2E
Financement de thèse :	IRSN/Région PACA
Directeur de thèse :	Marie SIMON-CORNU - IRSN
Tuteur de thèse :	Marie SIMON-CORNU
École doctorale :	Aix Marseille Université / Sciences de l'Environnement - ED251

La réflexion engagée dans ce projet se concentre principalement sur des enjeux méthodologiques relatifs à l'analyse des incertitudes associées au transfert des radionucléides dans les écosystèmes terrestres en situation accidentelle et à la mise en évidence de leur impact dans les modèles de calcul de dose ingérée à l'homme. Ainsi, cette thèse s'inscrit dans le contexte des projets AMORAD et COMET (impliquant l'IRSN) visant à améliorer la prise en compte des incertitudes dans les modèles d'évaluations de risque post-accidentelles.

Une première étape a consisté à caractériser l'incertitude relative aux (valeurs des) paramètres des modèles de calcul d'exposition par voie alimentaire en adoptant un cadre de modélisation probabiliste. En particulier, des méthodes statistiques telles que l'inférence bayésienne (combinée à une approche méta-analytique) ont été appliquées pour déterminer des distributions de probabilité traduisant l'imprécision autour des valeurs de ces paramètres. Une distinction a été faite entre d'une part des paramètres radioécologiques applicables à différents scénarios accidentels (ex. facteurs de transfert et de décroissance) et d'autre part des paramètres (radioécologiques ou non) fortement liés au contexte accidentel considéré (ex. types de dépôt, régimes alimentaires des populations locales etc.). Des réflexions méthodologiques relatives à la variabilité spatiale des dépôts et aux comportements alimentaires des consommateurs japonais sont en cours.

La seconde étape a visé à propager ces incertitudes paramétriques à travers les modèles de calculs d'impact dosimétrique par simulation Monte Carlo en vue d'évaluer l'incertitude sur les sorties des modèles et d'analyser leur sensibilité à l'incertitude autour des paramètres d'entrée. Cela a permis d'étudier l'influence des incertitudes paramétriques dans des évaluations de risque appliquées à des scénarios accidentels, l'un hypothétique (défini dans les actions du projet COMET), l'autre réel (Fukushima, Mars 2011).

Les développements réalisés durant cette thèse permettront entre autres d'améliorer les outils d'aide à la décision en situation accidentelle en enrichissant la base de données probabiliste de la plateforme de modélisation Symbiose (développée par l'IRSN) et de mettre à la disposition des acteurs de la radioécologie des méthodes statistiques avancées pour les évaluations de risque.

Sujet de la thèse :**Accumulation de l'uranium, de ses descendants
et des éléments traces métalliques autour des anciens sites miniers**

Doctorant :	Alicia CUVIER
Date du début de la thèse :	15/10/2012
Laboratoire :	LERCM (Cadarache)/EcoLab (Université de Toulouse)
Financement de thèse :	IRSN/Région Midi Pyrénées
Directeur de thèse :	Laurent Pourcelot (LERCM IRSN)/Gaël Le Roux (EcoLab CNRS)
Tuteur de thèse :	
École doctorale :	SDU2E Université Paul Sabatier Toulouse

Dans l'environnement des anciennes mines d'uranium, des zones d'accumulation de radionucléides naturels et d'éléments traces métalliques (ETM) sont potentiellement présentes, en relation avec la direction préférentielle de cours d'eau collectant les eaux de ruissellement et les rejets aqueux issus de la mine. Le but de cette étude est de caractériser la distribution des radionucléides issus des chaînes de désintégration U-Th et des ETM dans l'environnement de deux anciens sites miniers français: Bertholène (Aveyron) et St Alban sur Limagnole (Lozère): cartographie de la répartition des radioéléments à différentes échelles d'observation et caractérisation des sources des radionucléides et des ETM.

Dans un premier temps, le couplage de la spectrométrie gamma in situ mobile et sur trépied a permis de localiser des zones d'accumulation des radionucléides dans l'environnement de ces deux sites. Un échantillonnage systématique d'eau, de sols et de sédiments a ensuite été réalisé à la fois sur les zones d'accumulation et sur les zones moins marquées. Des mesures ont été effectuées en laboratoire sur les échantillons afin de caractériser l'activité en radionucléides par spectrométrie gamma et la concentration en ETM par ICP-MS. Enfin, la séparation des isotopes de l'uranium par chromatographie, l'identification des isotopes du plomb et des extractions séquentielles ont permis de compléter le panel d'informations obtenues pour les deux sites.

Il apparaît ainsi que pour le site de St Alban sur Limagnole, l'impact de l'activité minière est limité à la fois pour les radionucléides et les ETM. Les activités mesurées par spectrométrie gamma mobile et en laboratoire sont modérées ($100-1000 \text{ Bq.kg}^{-1}$) et les chaînes de désintégration sont globalement à l'équilibre. En revanche le site de Bertholène présente une concentration très élevée en radionucléides de la chaîne de l'U-238 ($>20000 \text{ Bq.kg}^{-1}$), des déséquilibres marqués au sein de cette chaîne (rapport d'activité $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra} \sim 10-20$) et une signature fortement radiogénique des isotopes du plomb (figure 1) dans des sols situés en aval du site minier, régulièrement inondés par le ruisseau traversant la mine. Ces contaminations sont directement associées à l'activité minière et probablement au processus de lixiviation en tas mis en œuvre et aux rejets en résultant.

.../...

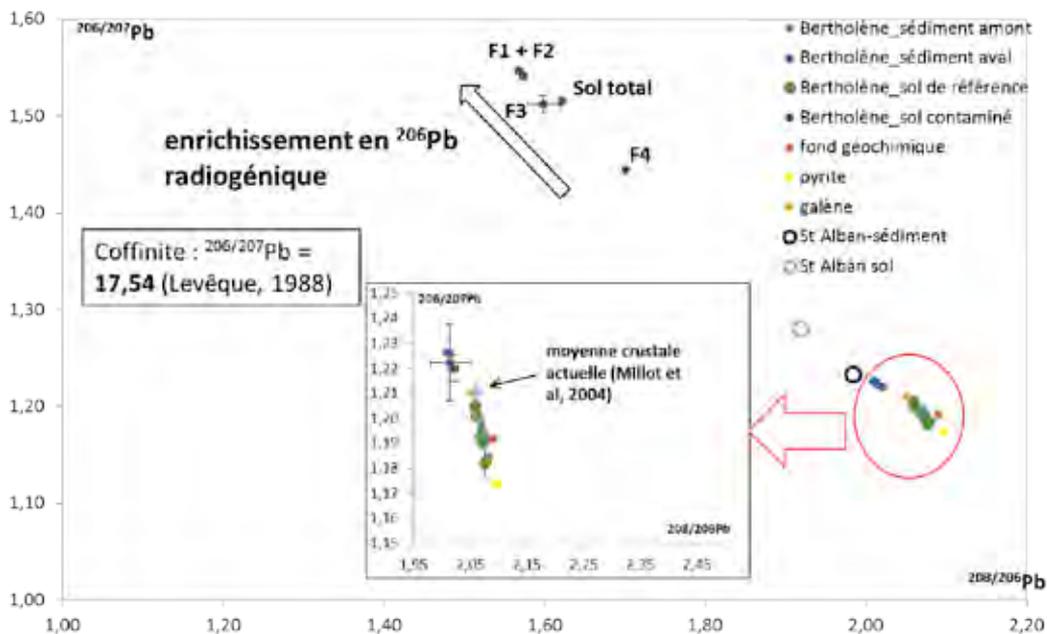


Figure 1: Rapport isotopique du plomb dans les sols, les sédiments et les solutions issues de l'extraction séquentielle pour les sites de St Alban et de Bertholène. Les sols contaminés de Bertholène présentent un fort marquage en plomb radiogénique (206 et ^{207}Pb), en particulier pour les fractions les plus mobiles (F1 et F2) déterminées par extraction séquentielle.

Sujet de la thèse :**Caractérisation de la pollution en radionucléides dans la zone d'exclusion de Tchernobyl : de la tranchée T22 à l'échelle du bassin versant**

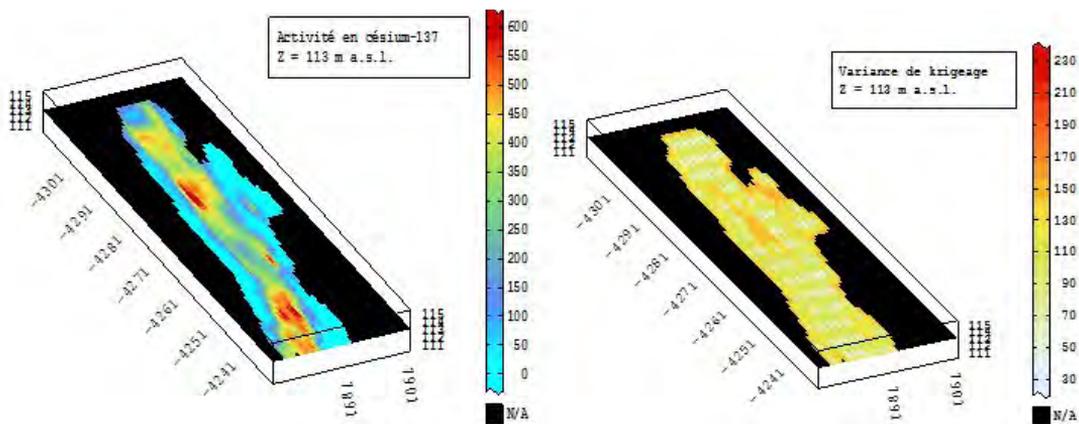
Doctorant :	Huong Liên NGUYEN
Date du début de la thèse :	13/01/2014
Laboratoire :	PRP-DGE/SRTG/LT2S
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Chantal de FOUQUET – Armines (Mines ParisTech)
Tuteur de thèse :	Christelle COURBET et Caroline SIMONUCCI
École doctorale :	Mines ParisTech/ED 398 GRNE

La catastrophe de Tchernobyl a relâché près de 13.10^{19} Bq de radionucléides dans l'atmosphère, entraînant la délimitation d'une zone d'exclusion de 30 km de rayon autour de la centrale. L'année suivante, environ 800 tranchées peu profondes ont été creusées dans lesquelles des déchets radioactifs ont été enfouis pour limiter leur dissémination dans l'atmosphère. Cependant, ces tranchées, construites dans des sables éoliens, ne constituent pas une barrière efficace contre la migration des radionucléides dans l'aquifère superficiel. Comme les autorités ukrainiennes souhaitent reconquérir une partie des territoires abandonnés de la zone d'exclusion, il devient nécessaire d'estimer, par des moyens fiables, les stocks de radionucléides susceptibles de contaminer les nappes sous-jacentes. L'étude de la tranchée T22 (site IRSN en collaboration avec deux instituts ukrainiens l'IGS et l'UIAR depuis 1999) montre l'efficacité et l'intérêt de la géostatistique dans cette problématique.

Le stock de césium-137 disponible dans la tranchée T22 en 1999 et l'incertitude associée à sa variabilité spatiale sont étudiés. Pour ce faire, les limites de la base de la tranchée sont d'abord interpolées en utilisant conjointement les résultats des profils géoradar, entrepris pour caractériser la subsurface de la tranchée, et les résultats de la campagne de mesures par spectrométrie gamma *in situ* dans des sondages forés dans la tranchée. Différentes approches géostatistiques sont appréciées. Les données d'activité en césium-137 sont analysées selon leur localisation pour ré-estimer les limites de la tranchée, son volume de sol radio-contaminé, le stock de césium-137 et les incertitudes associées. Les résultats de l'analyse géostatistique actuelle permettent de mieux définir les limites de la tranchée et d'obtenir plusieurs volumes de sol contaminés selon l'incertitude prise en compte. Les simulations géostatistiques, basées sur le modèle de variogramme des données d'activité, fournissent diverses cartes équiprobables, donc différents types d'hétérogénéité dans le stock.

Par la suite, un modèle hydrogéologique sera construit. Les paramètres hydrodynamiques seront estimés, dans un premier temps, par la méthode des points pilotes. Les cartes générées du stock de radionucléides et des paramètres de l'aquifère seront insérées dans le modèle dans le but d'évaluer leur impact sur le panache de pollution produit sous la tranchée T22 et leurs incertitudes.

.../...



➤ **Mardi 31 mars**

10h50-12h00

Théâtre du Moulin

SESSION PLÉNIÈRE

Facteurs humains et organisationnels

Président : Matthieu SCHULER

Sarah CARMINATI, Impacts des nouvelles technologies sur les activités en radiothérapie et sur la sécurité des patients.

Sylvie THELLIER, À quelles conditions les méthodologies participatives d'étude des risques peuvent-elles construire la sécurité ?

Jérémy EYDIEUX, Prendre en compte la sécurité gérée dans les évaluations de sûreté : le cas des activités de manutention.

Sujet de la thèse :**Appropriation des nouvelles technologies
par les manipulateurs d'électroradiologie en radiothérapie externe**

Doctorant :	Sarah CARMINATI
Date du début de la thèse :	05/11/2012
Laboratoire :	SRDS/SFOHREX/LSHS
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Françoise Decortis – Paris 8
Tuteur de thèse :	Hélène Faye
École doctorale :	Paris 8/Cognition Langage Interaction

Notre travail de recherche vise à comprendre la manière dont se déroule le processus d'appropriation d'une nouvelle technologie par des manipulateurs d'électroradiologie médical (MERM), afin d'établir des principes pour l'implantation des futures technologies dans les services de radiothérapie.

Le rôle des MERM consiste à délivrer le traitement aux patients tout en assurant la sécurité des soins. Une de leurs tâches principales est de positionner très précisément le patient sur la table de traitement afin que les faisceaux de traitement atteignent la tumeur cancéreuse de manière identique à chaque séance. Pour ce faire, ils positionnent le patient en salle de traitement grâce à des repères qui se trouvent sur la peau du patient.

Un nouveau logiciel, permet d'affiner le positionnement du patient au millimètre près à distance. L'activité qui est associée au logiciel de positionnement est le « matching ». Elle consiste à ajuster deux images (une image de contrôle et une image de référence) à l'aide de flèches sur le clavier et d'un curseur « dynamique » et de valider les ajustements réalisés. Cette action modifie en temps réel le positionnement de la table de traitement.

Nous avons conduit notre recherche dans un centre de radiothérapie qui a implanté à la mi-2014 un nouvel accélérateur de particules.

Nous avons réalisé des observations (200 heures) et des entretiens avec les MERM sur une période de 7 mois (avant, pendant et après l'implantation de l'accélérateur). Nous avons filmé et enregistré l'activité de « matching » au cours de 22 traitements réalisés par 5 manipulateurs d'électroradiologie travaillant en binôme à des moments différents de leur activité : pendant la formation (T1), trois mois (T2), puis quatre mois (T3) après le lancement des traitements. Nous avons réalisé en outre des entretiens semi-directifs consécutifs à l'activité.

Nous avons analysé les artefacts utilisés (repères anatomiques, curseur, image etc.), les interventions du collectif au cours de la réalisation de l'activité (aide pour localiser un repère anatomique etc.), les objets de l'activité du MERM (rechercher un décalage entre les deux images, vérifier les ajustements réalisés etc.). L'analyse est en cours de réalisation. Des entretiens d'autoconfrontation avec les MERM viendront surement compléter le recueil de données.

.../...



Figure 1: Réalisation du « matching » en salle de contrôle par un manipulateur d'électroradiologie médical



Figure 2: Positionnement du patient en salle de traitement grâce aux repères à la peau par les manipulateurs d'électroradiologie médical

Sujet de la thèse :

À quelles conditions les méthodologies participatives d'étude des risques peuvent-elles améliorer la sécurité ?

Doctorant :	Sylvie THELLIER
Date du début de la thèse :	05/02/2014
Laboratoire :	PSN-SRDS/SFOHREX/LSHS
Financement de thèse :	Salariée IRSN
Directeur de thèse :	Pierre Falzon - Cnam
Tuteur de thèse :	François Jeffroy
École doctorale :	École doctorale Abbé Grégoire

Les accidents de radiothérapie en France (Epinal, 2006 ; Toulouse, 2007) ont amené l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) à demander en 2008 aux services de radiothérapie de mener une étude des risques encourus par les patients. Celle-ci est le plus souvent réalisée dans le cadre de groupes de réflexion multi-métiers (radiothérapeute, physiciens médicaux, dosimétristes, manipulateurs) en dehors de l'activité de soin. L'IRSN a réalisé en 2013 une étude mettant en évidence différentes difficultés méthodologiques et organisationnelles rencontrées par les services de radiothérapie dans la réalisation de ces études de risques.

L'objectif de notre thèse est de concevoir et d'expérimenter une démarche d'analyse des risques favorisant le développement de la compréhension de l'activité et l'articulation entre le travail quotidien et ses conséquences sur la sécurité des soins réalisés.

En 2014, nous avons analysé finement les échanges au cours de deux réunions d'un groupe «étude des risques» pour mieux comprendre le rôle des différents participants et comment le groupe de travail réfléchit sur les risques à partir d'une démarche AMDEC. Ces échanges ont été enregistrés puis retranscrits, permettant une catégorisation des échanges selon leur référence à des actions sur la cartographie (partie supérieure de la figure), et à des réflexions sur les risques (partie inférieure de la figure).

Cette analyse montre que la cartographie guide les réflexions mais qu'elle ne reflète pas la richesse des échanges. Des débats sur des «sujets intéressants» ont lieu et sont amenés par l'expérience et l'étonnement des participants et leurs connaissances de l'activité réelle. Cependant, la réflexion sur ces sujets (étapes particulières du soin, mesures fragilisées, nouvelle organisation...) est souvent interrompue et reste peu approfondie, les participants n'arrivant pas vraiment à identifier leur caractère problématique ou risqué.

Autrement dit, il existe une certaine distance entre les risques tels qu'ils sont abordés par les démarches de gestion des risques (risques inacceptables (APR), analyse des défaillances (AMDEC)) et ceux vécus par les professionnels à travers leur travail quotidien. Finalement, la phase d'identification des risques est plus complexe qu'il n'y paraît. Autrement dit, il est difficile pour les professionnels de la radiothérapie de relier les caractéristiques de leur activité avec leurs conséquences sur la sécurité du traitement.

.../...

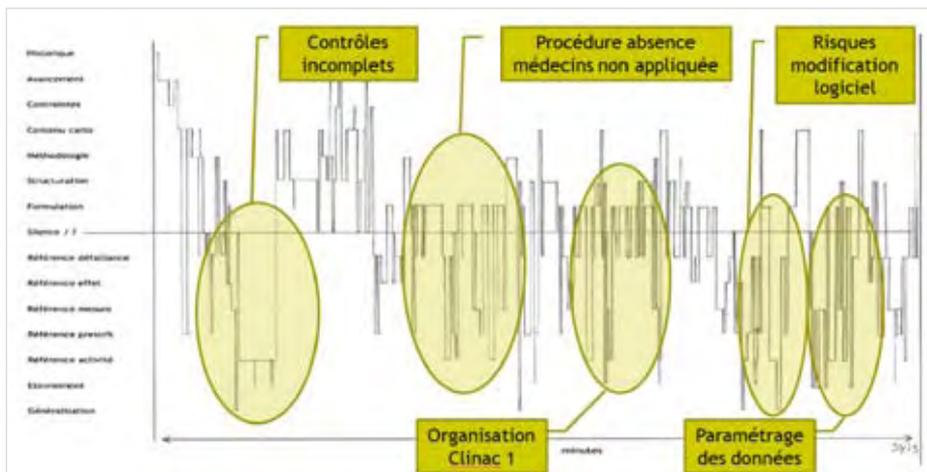


Figure : des « sujets intéressants » peu approfondis et peu débattus

Sujet de la thèse :

Prendre en compte la sûreté gérée dans les démonstrations de sûreté :
le cas des activités de manutention

Doctorant :	Jérémy EYDIEUX
Date du début de la thèse :	01/10/2012
Laboratoire :	PSN/SRDS/SFOHREX/LSHS
Financement de thèse :	Chaire RESOH École des Mines de Nantes
Directeur de thèse :	Benoît Journé – Université de Nantes
Co-encadrante :	Stéphanie Tillement – École des Mines de Nantes
Tuteur de thèse :	Hélène Faye & François Jeffroy
École doctorale :	Université de Nantes/DEGEST

La littérature en SHS considère que la sûreté est le produit de la combinaison du déploiement de règles formelles, la sûreté « réglée », et des savoir-faire de métier et ajustements informels réalisés par les collectifs de travail face à des situations imprévues, la sûreté « gérée ». L'objectif de la thèse est de comprendre comment le dialogue technique entre l'IRSN et l'exploitant intègre cette sûreté « gérée », comment celle-ci est prise en compte dans les démonstrations de sûreté.

Nous nous sommes concentrés sur l'activité de manutention lourde, car une part significative de la maîtrise des risques associés est construite en situation. Nous avons plus précisément étudié des dossiers de sûreté de démantèlement, car la manutention y est fortement représentée.

Nous avons dans un premier temps cherché à comprendre les activités de manutention par l'observation de l'activité des managers et opérateurs. L'analyse de cette activité montre trois résultats saillants. La manutention est invisible dans les organisations, et manque souvent de ressources pour s'organiser. Elle contribue à la fiabilité globale des ateliers en maintenant la vigilance et en produisant du décloisonnement entre métiers. Enfin, sept facteurs permettant à la manutention de s'organiser à travers le dialogue avec ses interlocuteurs ont été identifiés. Ces résultats, caractérisant la sûreté « gérée » de la manutention, sont utilisés dans l'analyse de la démonstration de sûreté que nous réalisons actuellement.

La deuxième partie de la recherche repose sur l'analyse de deux démonstrations de sûreté : un Dossier d'Options de Sûreté et un Rapport de Sûreté. Nous analysons le travail que

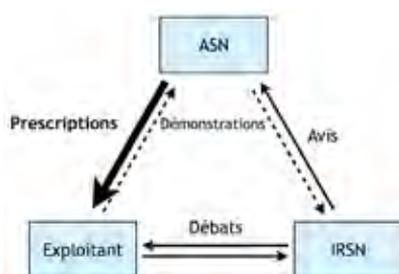


Figure 1: Schéma simplifié du dialogue technique de démonstration de sûreté

le dialogue technique nécessite chez l'exploitant et à l'IRSN, ainsi que les textes formellement échangés. Notre analyse montre que des choix sont faits au sujet des éléments investigués et au sujet de ce qu'on s'autorise à écrire ou non ; nous constatons par ailleurs que ces choix favorisent ou non l'intégration de la sûreté « gérée » de l'activité de manutention dans les documents associés à la démonstration de sûreté. L'analyse d'entretiens déjà réalisés avec des ingénieurs d'étude de l'exploitant et avec des experts de l'IRSN nous permettra d'analyser plus finement le processus de démonstration.

➤ **Mardi 31 mars**

14 h 50-16 h 30

Salon d'honneur

SESSION PARALLÈLE

**Effets des faibles doses – effets génétiques,
études mécaniste et épidémiologique**

Président : Marc BABUT (IRSTEA)

Aurélié VAURIJOUX, Étude des modifications génétiques et épigénétiques suite à une exposition aux rayonnements ionisants : lien entre dépôt d'énergie et devenir cellulaire.

Kewin GOMBEAU, Études des effets épigénétiques de l'uranium ou d'une irradiation gamma sur le cerveau et les gonades du poisson zèbre : caractérisation de biomarqueurs.

Florian PARISOT, Étude mécaniste de la toxicité des radiations ionisantes chez *Daphnia Magna*.

Yvan EB-LEVADOUX, Identification des ligands biologiques de l'uranium dans les gonades de *Danio rerio* - Impact sur leur fonctionnalité.

Sergey ZHIVIN, Étude épidémiologique des travailleurs du cycle du combustible nucléaire et analyse des effets sanitaires des composés uranifères en fonction de leur solubilité.

Sujet de la thèse :**Étude des modifications génétiques et épigénétiques des cellules
suite à une exposition aux rayonnements ionisants :
lien entre dépôt d'énergie et devenir cellulaire**

Doctorant : Aurélie VAURIJOUX
Date du début de la thèse : 01/10/2012
Laboratoire : PRP-HOM/SRBE/LDB
Financement de thèse : IRSN
Directeur de thèse : Joan-Francesc BARQUINERO - Université de Barcelone, Espagne
Tuteur de thèse : Gaëtan GRUEL - PRP-HOM/SRBE/LDB
École doctorale : Université Paris-Sud 11/ED Gènes Génomes Cellules

Les cassures double-brin de l'ADN (CDB) sont des événements-clés de la réponse aux radiations ionisantes qui, avec le profil génétique et épigénétique individuel, peuvent conditionner le devenir des tissus sains d'un individu exposé. Un ensemble de modifications épigénétiques transitoires interviennent dans le processus de signalisation des CDB, et notamment la phosphorylation de la sérine 139 de l'histone H2AX (Rogakou et *al.*, 1998). Quelques heures après la formation des CDB, une disparition de la majorité de ces foci gamma-H2AX (sérine 139 phosphorylée) est observée, et a été décrite comme liée à la réparation des CDB (Rogakou et *al.*, 1999). Cependant une certaine proportion de foci gamma-H2AX persiste après 24h (Rodier et *al.*, 2009). Leur lien avec des CDB résiduels est couramment admis mais reste controversé.

L'objectif de mon travail de thèse est d'étudier l'évolution des modifications épigénétiques mises en place en réponse aux dommages à l'ADN ainsi que le devenir des cellules qui présentent ces modifications. Pour cela, des marquages en immunofluorescence ont été réalisés à différents temps après l'irradiation de tapis de cellules endothéliales primaires humaines, avec une source de rayons X. Les analyses ont été menées par une approche de microscopie permettant l'identification topologique et qualitative des modifications étudiées au sein de chaque noyau (foci gamma-H2AX, 53BP1, PML-NB), couplée à une analyse d'image en masse permettant l'évaluation des probabilités d'occurrence de ces différents événements au sein de la population cellulaire irradiée. Nous avons ainsi pu mettre en évidence une persistance jusqu'à 7 jours après irradiation des foci gamma-H2AX dans une proportion de noyaux dépendante de la dose d'irradiation. La morphologie de ces foci résiduels est caractérisée par une taille moyenne supérieure à celle des foci initiaux. Ils sont majoritairement co-localisés avec la protéine 53BP1. Contre toute attente, nous avons pu démontrer que ces cellules portant ces foci résiduels sont capables de se diviser au moins une fois. De plus, les cellules filles issues de ces divisions présentent encore ce type de modifications épigénétiques indiquant qu'elles sont partiellement transmissibles à travers les générations cellulaires. Nous avons également mis en évidence une association spatiale avec des structures nucléaires particulières impliquées, entre autre, dans la réponse cellulaire au stress et la sénescence (corps nucléaires PML ; Bernardi et *al.*, 2007 ; Rodier et *al.*, 2011). L'ensemble de ces observations, nous permettent d'envisager que les foci gamma-H2AX résiduels ne signalent plus des CDB mais des structures anormales de la chromatine pouvant avoir un impact sur le devenir cellulaire.

Sujet de la thèse :**Modifications épigénétiques induites chez le poisson zèbre
par une exposition chronique à des radionucléides**

Doctorant :	Kewin GOMBEAU
Date du début de la thèse :	05/11/2012
Laboratoire :	IRS[N]/PRP-ENV/SERIS/LECO
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	J.P. Bourdineaud Univ. Bordeaux 1, C. Adam-Guillermin - IRSN
Tuteur de thèse :	C. Adam-Guillermin
École doctorale :	ED251 Sciences de l'environnement, AMU

Parmi les polluants environnementaux, l'uranium (U) est un actinide naturellement présent dans l'environnement. L'(éco)toxicité de ce métal a été bien étudiée, mais, en dépit des connaissances acquises jusque-là, certaines sont manquantes, et particulièrement le mode d'action impactant l'expression des gènes ainsi que le possible risque dans un contexte transgénérationnel. A ce titre, l'apparition de mutations à l'ADN joue un rôle important dans un contexte transgénérationnel, mais d'autres facteurs ont été mis en évidence, comprenant les modifications chimiques de l'ADN (sans changements dans la séquence) et de son environnement protéique, ensemble appelé « modifications épigénétiques ». La méthylation de l'ADN est le mécanisme épigénétique qui a été le plus étudié, et est connu pour être étroitement lié à l'expression des gènes.

Dans ce contexte, nous avons décidé d'étudier les profils de méthylation de l'ADN induits par une exposition chronique à des concentrations environnementales d'uranium appauvri pour évaluer le possible lien avec les effets déjà observés chez le poisson d'eau douce, *Danio rerio*, modèle biologique largement étudié en toxicologie et écotoxicologie.

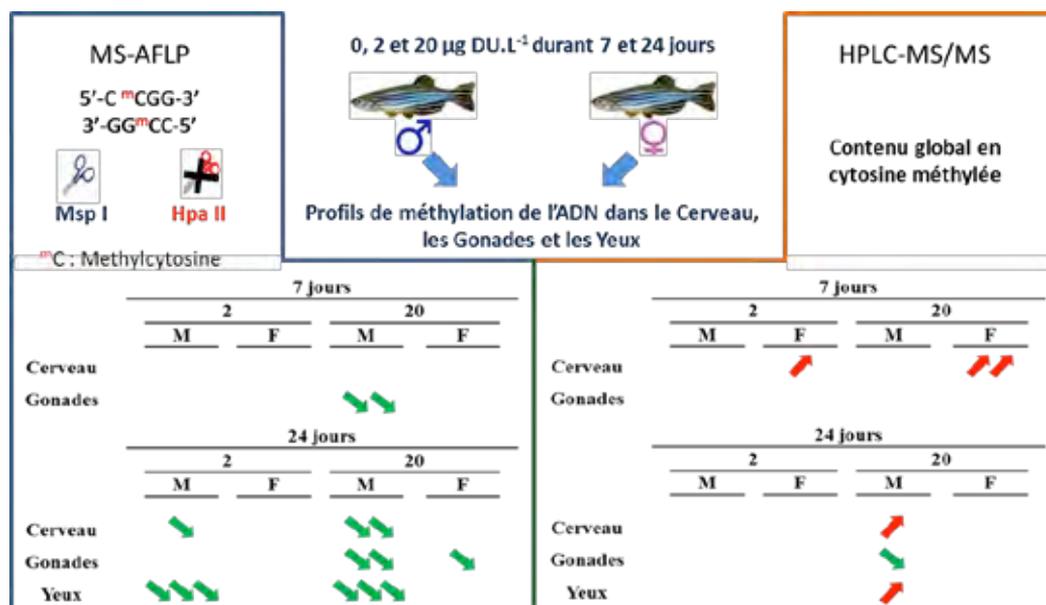
Des poissons zèbre mâles et femelles ont été exposés séparément à deux concentrations environnementales pertinentes en uranium appauvri (UA) par voie directe: 2 et 20 µg.L⁻¹ durant 24 jours. La méthylation de l'ADN a été évaluée par MS-AFLP, méthode basée sur l'analyse du niveau de méthylation de séquences spécifiques présentes dans le code génétique, ainsi que par HPLC-MS/MS pour déterminer le contenu total de cytosine méthylées dans l'ADN des tissus cibles.

Les niveaux de méthylation mesurés au cours de l'expérience ont révélé des profils de méthylation en réponse à la contamination, différents selon le sexe et le niveau d'exposition. Ces réponses ont surtout été observées chez les mâles exposés à la plus haute concentration, sans qu'elles ne puissent être directement liées à la concentration intra-tissulaire d'uranium.

Ces résultats mettent en évidence pour la première fois que des concentrations environnementales d'UA peuvent impacter la méthylation de l'ADN chez le poisson zèbre.

.../...

L'utilisation de ces deux techniques pour évaluer ces effets a permis de mettre en évidence une réponse à la contamination dépendant du sexe ainsi que du temps d'exposition. Les données acquises sur les gonades, soulèvent l'hypothèse d'une possible transmission de ces modifications à la descendance.



Sujet de la thèse :**Étude mécaniste de la toxicité des radiations ionisantes chez *Daphnia magna***

Doctorant :	Florian PARISOT
Date du début de la thèse :	15/10/2012
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/LECO
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Jean-Christophe Poggiale – Université Aix-Marseille
Tuteur de thèse :	Frédéric Alonzo
École doctorale :	ED 251 Sciences de l'environnement

Les activités anthropiques liées à l'industrie nucléaire contribuent à des décharges continues de radionucléides dans les écosystèmes terrestres et aquatiques. Au cours des dernières décennies, la protection des écosystèmes concernant les radiations ionisantes est devenue un enjeu public, réglementaire et scientifique majeur. Cependant, jusqu'à présent, l'évaluation des risques écologiques des radiations ionisantes a été basée en grande majorité sur des études s'intéressant aux effets à forte dose et courte durée d'exposition. Ces études restent très éloignées du contexte environnemental réel dans lequel les organismes sont véritablement exposés. Il est donc nécessaire de réaliser des études chroniques à faibles doses sur plusieurs générations afin d'améliorer nos connaissances concernant les effets à long terme des faibles niveaux de radiations, et ainsi permettre de protéger convenablement l'environnement.

Dans ce contexte, ce projet de thèse examine les effets chroniques d'une irradiation gamma externe (Cesium-137) chez le micro-crustacé d'eau douce, *Daphnia magna*, au cours de trois générations successives (F0, F1 et F2). Ces travaux ont plusieurs objectifs : (i) examiner si de faibles débits de dose d'irradiation (de 0,007 à 35,4 mGy/h) induisent une aggravation des effets sur la survie, la croissance et la reproduction des daphnies au fil des générations; (ii) tester s'il existe une potentielle accumulation et transmission d'altérations de l'ADN (des adultes à la progéniture); et (iii) comparer les réponses radiotoxiques entre les niveaux moléculaire et individuel.

Les résultats montrent une réduction significative de la fécondité à 35,4 mGy/h en génération F0, une réduction de la fécondité plus légère à 35,4 mGy/h en génération F1 et un retard significatif de libération des pontes à partir de 0,070 mGy/h en génération F2 (Fig. 1). En parallèle, les altérations de l'ADN sont devenues significatives : (i) à des débits de dose décroissants (de 4,70 à 0,007 mGy/h) au cours de la F0, (ii) seulement aux plus forts débits de dose en F1 et, (iii) à des débits de dose décroissants (de 0,07 à 0,007 mGy/h) au cours de la F2.

Un modèle mécaniste (DEBtox) sera développé afin de décrire comment l'accumulation et la transmission des altérations de l'ADN peuvent expliquer les effets observés sur la croissance et la reproduction des daphnies au fil des générations.

.../...

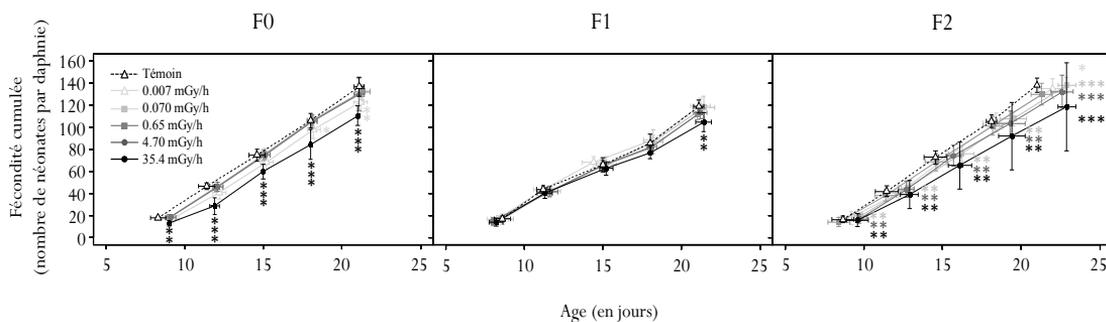


Figure 1: Fécondité cumulée (nombre de néonates par daphnie) en fonction de l'âge (jours) des daphnies exposées à différents débits de doses d'irradiation gamma (0; 0,007; 0,070; 0,65; 4,70 et 35,4 mGy/h) au cours de trois générations successives (F0, F1 and F2). Les étoiles verticales et horizontales indiquent respectivement les différences significatives avec le témoin pour le nombre cumulé de néonates par daphnie et l'âge de libération des pontes :

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; $n = 10$

Sujet de la thèse :

**Identification des ligands biologiques de l'uranium dans les gonades de *Danio rerio*.
Impact sur leur fonctionnalité**

Doctorant :	Yvan EB-LEVADOUX
Date du début de la thèse :	03/03/2014
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/L2BT
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Ryszard Łobinski (LCABIE-CNRS, Pau)
Tuteur de thèse :	Sandrine Frelon (L2BT-IRSN) Sandra Mounicou (LCABIE-CNRS)
École doctorale :	UPPA/EDSEA (ED211)

Dans la poursuite du projet ANR ST MALO (SpeciaTion of uraniuM in Aquatic Living Organisms), l'objectif de cette étude est de contribuer à mieux comprendre la reprotoxicité de l'uranium sur le poisson (préalablement observée à travers les résultats du programme ENVIRHOM), en étudiant à l'échelle moléculaire les interactions uranium-biomolécules dans les gonades femelles i) de *Danio rerio* exposés en laboratoire à faibles concentrations d'uranium appauvri et ii) de gardons *Rutilus rutilus*, prélevés *in situ* dans un étang sous influence d'un ancien site minier uranifère.

Trois axes principaux ont été définis :

- poursuivre les développements pour l'analyse des complexes natifs uranium-biomolécules ;
- décrire le devenir de l'uranium au niveau moléculaire (Approche métallomique) et étudier les conséquences au niveau de l'expression des protéines (Approche protéomique) ;
- comparer le poisson zèbre, modèle de laboratoire, et le gardon, animal autochtone.

La première année de thèse a été consacrée i) à la génération des échantillons (poissons zèbres et gardons, témoins et exposés) et ii) aux premiers développements analytiques.

La préparation d'échantillons a été investiguée avec pour objectif d'isoler la fraction protéique riche en vitellogénine, protéine phosphorylée abondante dans les gonades, servant de réserve nutritive à l'embryon et cible potentielle de l'uranium. Pour ce faire, plusieurs protocoles différents, compatibles avec l'étude des complexes uranium-protéine (*i.e.* conditions non dénaturantes) et respectant les propriétés des tissus (pH, osmolarité) ont été testés et caractérisés par l'étude du profil protéique en conditions natives (SEC-UV), par la localisation des phosphoprotéines et l'immunodétection de la vitellogénine (électrophorèse sur gel en conditions dénaturantes et transfert). Une analyse complémentaire du profil d'uranium par SEC-ICP-MS sur poisson exposé est également prévue afin de déterminer si l'uranium se fixe préférentiellement sur certaines protéines.

.../...

Les données sont en cours d'analyse mais les premiers résultats montrent des profils protéiques contrastés entre une femelle ayant pondu ou non (figure ci-dessous) et une distribution légèrement différente des phosphoprotéines selon les protocoles.

Après détermination du protocole, les approches comparatives en métallomique (spéciation, au LCABIE) et protéomique (méthode DIGE) seront réalisées sur les extraits de poissons zèbres et gardons.

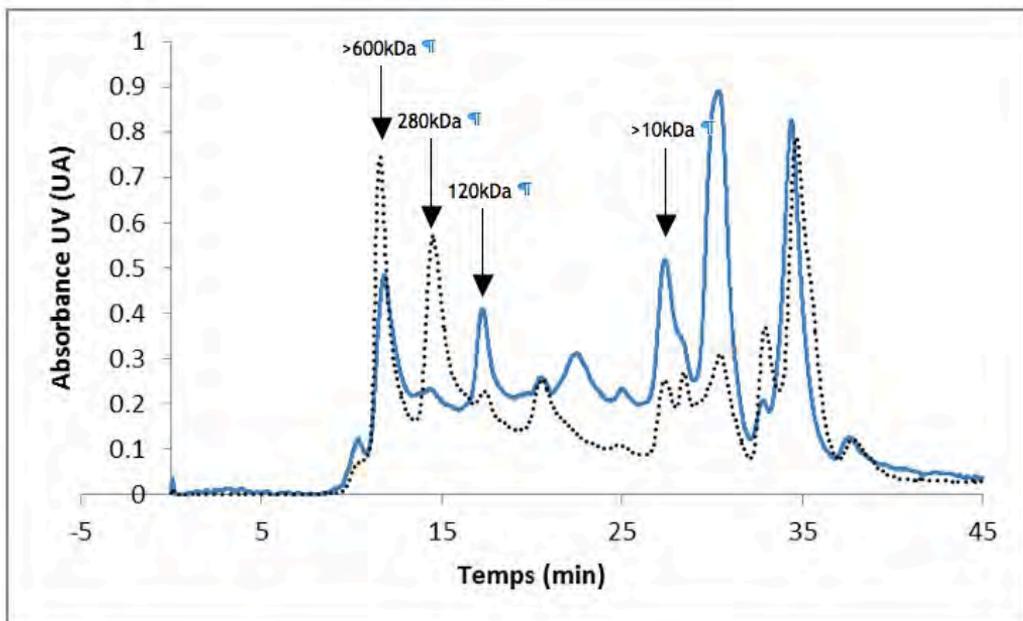


Figure : Profil protéique par chromatographie d'exclusion stérique SEC-UV (254nm) de gonades femelles de *Danio rerio* ayant (trait plein) ou n'ayant pas (pointillés) pondu. Pour une quantité identique de protéines la distribution et la nature des protéines contenues sont différentes.

Sujet de la thèse :

Étude épidémiologique des travailleurs du cycle du combustible nucléaire et analyse des effets sanitaires des composés uranifères en fonction de leur solubilité

Doctorant :	Sergey ZHIVIN
Date du début de la thèse :	04/10/2012
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LEPID
Financement de thèse :	Région Ile-de-France
Directeur de thèse :	Dominique LAURIER - IRSN
Tuteur de thèse :	Dominique LAURIER
École doctorale :	Université Paris-Sud/ED 420

Les effets à long terme sur la santé d'une exposition à l'uranium sont encore débattus bien que des données récentes suggèrent une association entre le cancer et les maladies cardiovasculaires et les caractéristiques physico-chimique de l'uranium. Dans notre revue critique récente nous avons montré qu'elles sont rarement prises en compte dans les études épidémiologiques et les résultats disponibles ne sont pas concluants quant à leur association avec des effets sanitaires.

Le premier axe porte sur le risque de mortalité par maladies cancéreuses et non-cancéreuses dans la cohorte française des travailleurs d'enrichissement. Cette cohorte inclut 4688 travailleurs embauchés au moins six mois dans l'enrichissement de l'uranium (Areva NC, CEA, Eurodif) et suivis entre 1968 et 2008. Le suivi médian est de plus de 30 ans. 1% des travailleurs (37) ont été perdus de vue et 1% ont eu les causes de décès inconnues. La comparaison entre la mortalité chez les travailleurs par rapport à une population française (SMR, *standardized mortality ratio*) montre un effet du travailleur sain : tout décès (SMR=0,69, 95%IC=0,65-0,74), tout cancer (SMR=0,79, 95% IC=0,72-0,87), cancers solides (SMR=0,80, 95%IC=0,72-0,88).

Le deuxième axe de la thèse porte sur l'analyse du risque de décès par pathologies circulatoires (PAC) dans l'étude cas-témoins nichée de 395 travailleurs d'Areva NC Pierrelatte. Les objectifs de cette étude sont : (1) calculer les doses internes dues à l'exposition à l'uranium en se basant sur la matrice emplois-exposition et des données des examens radiotoxicologiques, et (2) étudier la relation dose-effet. Les doses internes moyennes cumulés (en mGy) sont faibles : poumons (0,76, min=0, max=27,31), cœur (0,01, min=0, max=0,30), ganglions lymphatiques thoraciques (3,01, min = 0, max = 88,60). Les résultats préliminaires montrent que la relation dose-effet persiste après l'ajustement sur les facteurs de risque classique des PAC (tabagisme, surpoids, hypertension, hypercholestérolémie et diabète).

➤ **Mardi 31 mars**

14 h 50-16 h 30

Théâtre du Moulin

SESSION PARALLÈLE

Combustible et matériaux poreux

Président : Jean-Christophe SABROUX

Elodie TORRES, Étude de la diffusion de l'hydrogène dans les alliages de zirconium des gaines de combustibles nucléaires et son interaction avec le chargement mécanique.

Nicolas BAUDIN, Évaluation du transfert de chaleur en ébullition en film transitoire.

Yixian ZHOU, Éjection de gaz et de grains suite à la rupture d'un crayon de combustible nucléaire : modélisation de la dynamique.

Lhassan AMARSID, Fragmentation et écoulement des agrégats poreux.

Ange GOURBIL, Caractérisation d'un écoulement diphasique dans un milieu poreux modèle.

Xavier HALLER, Comportement des matériaux nanoporeux : application au combustible UO_2 .

Sujet de la thèse :**Spécificités de la mobilité de l'oxygène et de l'hydrogène dans le Zircaloy-4
en conditions APRP et conséquences mécaniques**

Doctorant :	Elodie TORRES
Date du début de la thèse :	07/01/2013
Laboratoire :	PSN-RES/SEREX/LE2M
Financement de thèse :	IRSN - EDF
Directeurs de thèse :	Marie-Christine Baidetto – INSA Lyon Michel Coret – Ecole Centrale Nantes
Tuteur de thèse :	Jean Desquines
École doctorale :	MEGA - INSA de Lyon

L'oxygène et l'hydrogène sont des éléments fragilisant pour les alliages de zirconium. En cas d'Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP, accident provoqué par une brèche dans l'enveloppe du circuit primaire d'un réacteur), ils peuvent en particulier affecter les conditions de rupture des gaines de combustible nucléaire au cours des sollicitations mécaniques induites par la trempe lors du renoyage du cœur. Pour comprendre cette fragilisation de la gaine, il est nécessaire de déterminer la localisation précise de l'oxygène et de l'hydrogène. L'objectif de cette thèse est de caractériser les principaux mécanismes qui gouvernent leur diffusion.

Les études disponibles sur la mobilité de l'hydrogène sont essentiellement consacrées à des températures inférieures à 550°C. La première partie de la thèse a consisté à faire un état des lieux des mécanismes d'adsorption et de diffusion observés à ces niveaux de température. Une modélisation couplée des échanges et de la diffusion de l'hydrogène en solution solide a été construite à partir des résultats expérimentaux obtenus au laboratoire puis validée à partir des expérimentations connues à ce jour dans la littérature.

L'étude de l'APRP implique la mise en œuvre de températures plus élevées et l'étude de la mobilité simultanée de l'hydrogène et de l'oxygène. Des tubes en Zircaloy-4 préalablement hydrurés ont été oxydés sous vapeur d'eau à 1200°C. De nombreuses caractérisations ont été effectuées pour déterminer les propriétés microstructurales, physico-chimiques et mécaniques du matériau. Au cours de l'oxydation haute température sous vapeur d'eau à 1200°C, une ségrégation chimique des éléments a été observée. Cette ségrégation est associée à la diffusion de l'oxygène et à la transformation progressive de la phase β en une phase $\alpha(O)$ stabilisée par l'oxygène. L'oxygène et l'hydrogène présentent en effet une distribution complexe dans l'épaisseur de la gaine.

Une distribution hétérogène de l'hydrogène a été observée au moyen de cartographies ERDA et l'évolution des teneurs locales en hydrogène a permis d'identifier un profil de diffusion à travers un joint de grain $\alpha(O)/\beta$. La comparaison entre les calculs et les résultats expérimentaux du profil radial en oxygène montre que la diffusion n'est pas

.../...

correctement modélisée dans le domaine biphasé $\alpha+\beta$ (figure 1). Les apports essentiels de cette thèse consistent à déterminer les paramètres clés qui gouvernent la diffusion de l'oxygène dans le domaine biphasé. La microstructure de la phase ex- β est constituée de grains β et d'inclusions $\alpha(O)$ enrichies en oxygène qui grandissent radialement au cours du transitoire. Il a été démontré et vérifié expérimentalement que la fraction de phase $\alpha(O)$, déterminée par analyse d'image, suit une loi de diffusion. Dans le domaine biphasé, la diffusion de l'oxygène est donc contrôlée par la croissance des inclusions $\alpha(O)$.

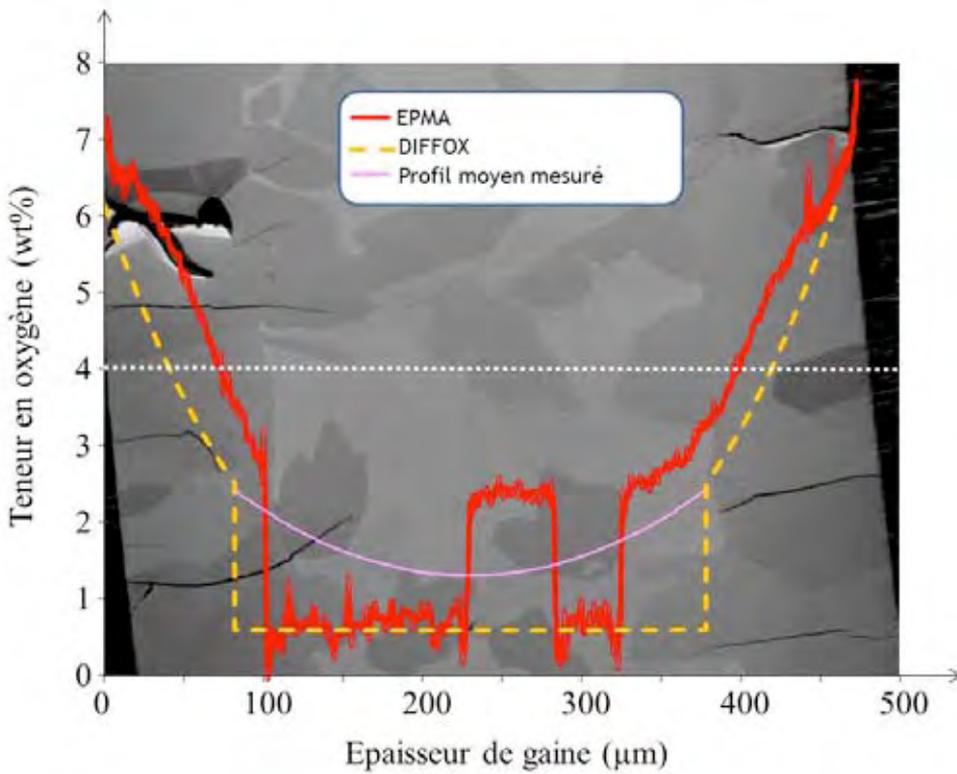


Figure 1: Profil radial en oxygène après un transitoire thermique de type APRP

Sujet de la thèse :

Étude expérimentale de l'ébullition transitoire

Doctorant :	Nicolas BAUDIN
Date du début de la thèse :	22/10/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SEMIA/LIMAR
Financement de thèse :	Cofinancement EDF
Directeur de thèse :	Catherine Colin, Julien Sebilleau – IMFT (Toulouse)
Tuteur de thèse :	Pierre Ruyer
École doctorale :	Université de Toulouse, Mécanique Énergétique Génie civile et Procédés

L'accident d'insertion de réactivité (RIA, événement se produisant notamment lors de l'éjection d'une grappe de commande) est étudié pour le dimensionnement des réacteurs nucléaires. Il se traduit par une augmentation soudaine et importante de la température du combustible nucléaire : de 1000 à 10000 K/s localement pour un pulse de puissance de quelques millisecondes. L'étude du refroidissement du combustible entouré par un écoulement d'eau est importante pour évaluer les conséquences de cet accident : si la température augmente trop, les gaines retenant le combustible peuvent casser et libérer des particules radioactives dans le fluide. La modélisation de l'ébullition transitoire de l'eau à la paroi chauffée est importante mais reste mal connue. L'IRSN mène un programme de recherche à ce sujet et une boucle expérimentale dédiée a été construite à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse pour comprendre l'effet d'un chauffage transitoire sur l'ébullition. Une conduite de section semi-annulaire est équipée d'une caméra infrarouge pour mesurer la température de paroi avec une grande précision temporelle et une caméra rapide pour voir le déclenchement de l'ébullition et son développement. La paroi est chauffée par effet Joule.

Quand la paroi commence à chauffer les transferts de chaleur se font par convection forcée instationnaire (phase 1). Passée une température de paroi T_{onb} , le fluide bout, le refroidissement est amélioré mais la température continue d'augmenter (phase 2). Quand une température critique T_{CHF} est atteinte, les bulles coalescent et forment un film de vapeur qui isole la paroi du fluide et la température augmente rapidement (phase 3). Quand le chauffage est arrêté, la température diminue et le système repasse par les mêmes phases : ébullition en film (phase 5), puis quand la température passe en dessous de T_{RHF} , le liquide remouille la paroi et le refroidissement s'améliore pour ramener la paroi à sa température initiale (phase 6). La redescente à une température normale peut être 4 à 5 fois plus longue que le temps de chauffe. Pendant l'ébullition en film la température est très élevée et la paroi peut casser.

La thèse a pour but de comprendre et modéliser cet ensemble de phases représentatives d'un accident de type RIA. La caractérisation de la phase 1 a permis de faire un modèle pour expliquer l'augmentation de T_{ONB} avec la vitesse de montée en température. Les transferts de chaleur en ébullition et T_{CHF} augmentent aussi avec la vitesse de chauffe. La redescente en température en ébullition en film peut être bien représentée par un modèle dit « deux fluides ».

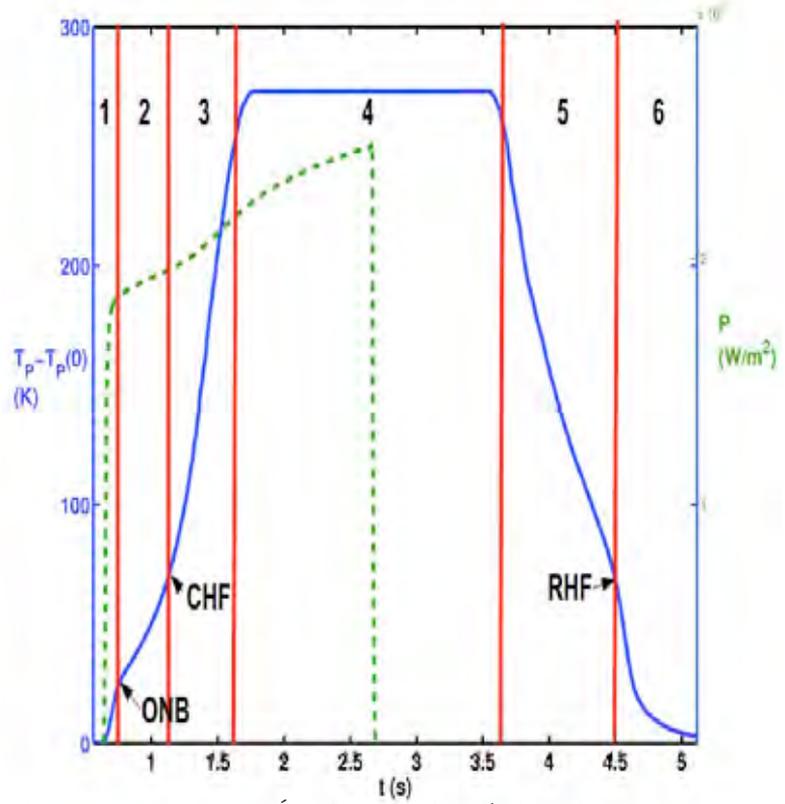
.../...



Visualisation par caméra rapide



Visualisation par caméra IR



Évolution de la température et de la puissance au cours d'un essai type RIA

Sujet de la thèse :**Éjection de gaz et de grains suite à la rupture d'un crayon de combustible nucléaire :
modélisation de la dynamique**

Doctorant :	Yixian ZHOU
Date du début de la thèse :	14/10/2014
Laboratoire :	SEMIA/LIMAR
Financement de thèse :	co-financement EDF-IRSN
Directeur de thèse :	Pascale AUSSILLOUS – AMU IUSTI
Tuteur de thèse :	Pierre RUYER
École doctorale :	AMU/ ED «Sciences pour l'ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique»

En condition accidentelle, et plus particulièrement suite à une insertion de réactivité, les particules de combustible nucléaire chaud et le gaz pressurisé peuvent entrer en contact avec le fluide caloporteur suite à la rupture du crayon combustible. La violence de l'interaction dépend notamment fortement du débit de vidange de ces particules vers le fluide. Le but de cette thèse est d'étudier la dynamique de cette vidange et d'identifier les paramètres dominants. Nous simulons des milieux composés d'une collection granulaire dense et d'un gaz s'écoulant d'un espace confiné vers un espace libre numériquement et expérimentalement.



Nous étudions expérimentalement la vidange d'un silo composés des billes de verre sphériques. Les grandeurs à mesurer sont le débit massique des particules et la pression tout au long de la hauteur du silo. Les paramètres de contrôle sont la taille des billes, la taille du trou et le débit de gaz injecté. D'abord, des expériences de vidange de silo avec un trou en bas ou sur le côté sans l'effet de l'air ont été réalisées et interprétées. Ensuite, nous avons réalisé une série d'expériences avec un écoulement d'air à contre-courant. L'étude de l'effet de l'air à co-courant constituera la prochaine campagne expérimentale.

Afin de mieux interpréter nos mesures, nous avons utilisé un outil numérique pour simuler la dynamique de contact des milieux granulaires par éléments discrets, le logiciel LMGC90. D'abord, afin de valider LMGC90 dans la configuration simple, nous avons fait la simulation sur le problème de vidange de silo avec le trou en bas et obtenu des résultats en accord avec la littérature. Nous avons continué sur un problème bidisperse. Par ailleurs, des premiers résultats très satisfaisants ont été obtenus pour la simulation de vidange de silo avec le trou sur le côté.

Sujet de la thèse :**Fragmentation et écoulement des agrégats poreux**

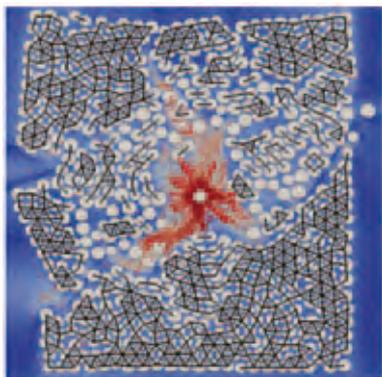
Doctorant :	Lhassan AMARSID
Date du début de la thèse :	01/10/2012
Laboratoire :	PSN/SEMIA/LPTM
Financement de thèse :	IRSN - EDF
Directeur de thèse :	Franck RADJAÏ – CNRS Montpellier
Tuteur de thèse :	Frederic PERALES
École doctorale :	Université Montpellier 2, I2S

L'objectif de la thèse est l'étude et l'analyse du processus de fragmentation et de relocalisation du combustible nucléaire en présence d'un fluide (gaz de fission en situation normale ou liquide caloporteur en cas de rupture de la gaine en situation accidentelle) par modélisation numérique en utilisant des approches discrètes par couplage des méthodes LBM (Lattice Boltzmann Method, issue de la physique statistique) et DEM (Discrete Element Method).

Dans une première partie, un modèle numérique 2D basé sur le couplage LBM-DEM a été adapté à l'étude du comportement homogène du mélange fluide-grains dans une géométrie de Couette (cisaillement imposé).

Des conditions aux limites permettant l'application d'une pression de confinement directement sur la partie granulaire du mélange ont été implantées. Une étude paramétrique a été menée pour déterminer la dépendance des grandeurs effectives (viscosité, résistance au cisaillement, compacité) par rapport au taux de cisaillement et aux propriétés matérielles. Les données numériques obtenues sont mises à l'échelle à travers une combinaison de deux nombres sans dimensions : le nombre inertiel, qui quantifie l'importance relative de l'inertie des grains et les contraintes de confinement de l'assemblage granulaire et le nombre visqueux, qui quantifie les forces visqueuses exercées sur les grains par le fluide par rapport aux contraintes de confinement. Elles sont en bon accord avec les expériences.

Dans une seconde partie, le code de simulation a été enrichi par diverses conditions aux limites pour la phase fluide, Dirichlet et Neumann homogène, ainsi que par l'implantation d'un modèle d'adhésion entre les grains pour l'étude de la fragmentation d'un milieu granulaire cohésif sous l'effet d'un gradient de pression fluide ou d'une surpression localisée.



Dans la suite de ces travaux, des simulations permettront d'étudier la fragmentation d'un combustible après plusieurs années en réacteur ainsi que l'éjection des fragments à travers une ouverture en cas de rupture de la gaine de combustible suite à un accident de perte de réfrigérant primaire.

Sujet de la thèse :**Caractérisation d'un écoulement diphasique dans un milieu poreux modèle**

Doctorant :	Ange GOURBIL
Date du début de la thèse :	09/12/2013
Laboratoire :	IRSN/PSN-RES/SAG/LEPC en collaboration avec IMFT
Financement de thèse :	cofinancement EDF
Directeur de thèse :	Marc PRAT, IMFT-Toulouse
Tuteur de thèse :	Florian FICHOT
École doctorale :	École doctorale MEGeP, INP Toulouse

Contexte

Lors d'un accident grave de perte de réfrigérant primaire, la dégradation des matériaux d'un cœur de réacteur nucléaire peut conduire à la formation d'un lit de débris radioactifs que l'on cherche à refroidir en y injectant de l'eau, dans une opération appelée renoyage. La compréhension des phénomènes en jeu nécessite de s'intéresser à l'ébullition intense dans un milieu poreux surchauffé. Cette thèse s'inscrit dans un projet de l'IRSN axé autour des dispositifs expérimentaux PRELUDE et PEARL, visant à valider et à affiner le modèle implanté dans le code de simulation du renoyage actuellement utilisé à l'IRSN.

Objectifs

Le travail présenté ici se penche sur la caractérisation des phénomènes d'ébullition à l'échelle du pore. Il reprend un dispositif expérimental réalisé au cours d'une thèse précédente (Paul Sapin). Ce dispositif est constitué d'un milieu poreux modèle bidimensionnel chauffé en masse, qui permet de visualiser les écoulements à l'échelle du pore et d'effectuer des mesures thermiques locales (Figure 1). Un premier objectif est d'exploiter les visualisations obtenues afin d'estimer les taux de vide. Un autre est de réaliser une nouvelle cellule d'essai offrant un meilleur contrôle des éléments chauffants ainsi qu'une puissance de chauffe accrue afin d'atteindre l'assèchement du milieu. Enfin, il s'agit de concevoir et réaliser un dispositif bidimensionnel d'expérience diphasique isotherme. La cellule d'essai aura une géométrie semblable à celle de l'expérience d'ébullition, mais l'écoulement diphasique sera isotherme, avec injection du gaz localement dans le liquide. On cherchera à reproduire à froid les mêmes structures d'écoulements que celles obtenues à chaud.

Principaux résultats et perspectives

Le traitement des images d'écoulements diphasiques est fait sous Matlab. Des algorithmes ont été développés pour binariser les images, qui sont particulièrement complexes à traiter. Ils ont permis d'obtenir un ordre de grandeur du taux de vide moyen en fonction de la puissance thermique dégagée par le milieu poreux. Le traitement d'images donne aussi accès à la vitesse locale des bulles ainsi qu'à la distribution des tailles des bulles.

.../...

La nouvelle cellule d'essai pour les expériences d'ébullition convective est en cours de réalisation.

Concernant l'expérience d'écoulement diphasique isotherme, des tests de bullage sont en cours avec différents types d'injecteurs de gaz.

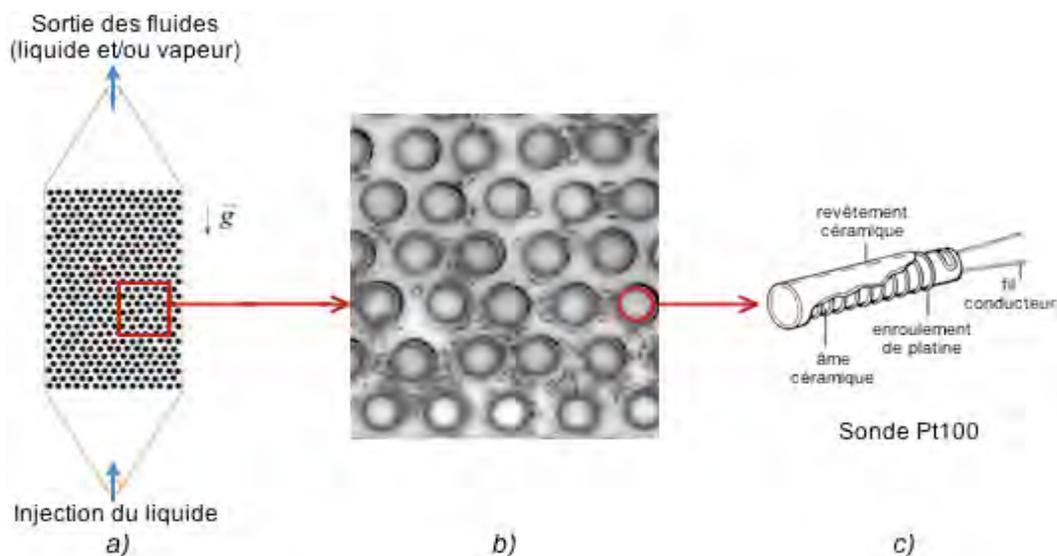


Figure 1: a) Schéma de la section;
 b) Exemple de visualisation;
 c) Schéma d'un élément chauffant.

Sujet de la thèse :**Comportement des matériaux nanoporeux : application au combustible UO_2**

Doctorant :	Xavier HALLER
Date du début de la thèse :	29/10/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SEMIA/LPTM
Financement de thèse :	Cofinancement IRSN-EDF
Directeur de thèse :	Yann Monerie et Stéphane Pagano (LMGC)
Tuteur de thèse :	Pierre-Guy Vincent
École doctorale :	I2S, Université de Montpellier

Contexte et objectif :

Le combustible des réacteurs à eau sous pression se présente sous forme de pastilles cylindriques en dioxyde d'uranium (UO_2). L' UO_2 irradié contient deux populations de cavités saturées par des gaz de fission : i. des cavités intergranulaires lenticulaires, dont la taille varie de quelques dizaines à quelques centaines de nanomètres, ii. des cavités intragranulaires plutôt sphériques, dont la taille est de l'ordre du nanomètre. Des travaux menés récemment à l'IRSN ont montré qu'il existe un effet de surface à l'échelle des cavités nanométriques qui modifie de façon non négligeable le comportement mécanique effectif du combustible. L'objectif de la thèse est de développer un modèle micromécanique capable de prendre en compte cette microstructure hétérogène ainsi que l'effet de surface présent à l'échelle des bulles nanométriques pour déterminer le comportement mécanique macroscopique de l' UO_2 irradié.

Démarche et résultat :

La démarche mise en œuvre est fondée sur une approche multi-échelle (représentée sur la figure 1) et s'appuie sur des techniques d'homogénéisation en mécanique des matériaux. L' UO_2 irradié est décrit comme un matériau poreux contenant des nanocavités sphériques (bulles intragranulaires) et sphéroïdales (bulles intergranulaires), sous pression et orientées aléatoirement. L'effet de surface présent à l'échelle nanométrique est pris en compte via un modèle dit d'*interface imparfaite cohérente* entre la matrice d' UO_2 et les cavités. Un modèle original fondé sur l'approche par motifs morphologiques représentatifs a été développé permettant de déterminer les propriétés élastiques effectives de ce milieu modèle. Le modèle prédit un comportement élastique effectif plus rigide que lorsque les effets de surface ne sont pas pris en compte. Il montre également que plus les cavités sont petites, plus l'effet des pressions internes sur la contrainte macroscopique est faible.

.../...

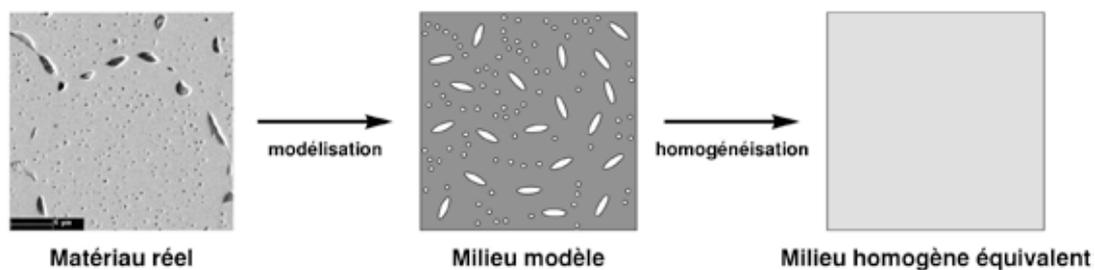


Figure 1: Représentation de la démarche multi-échelle adoptée.

Perspectives :

Deux voies de validation du modèle sont envisagées. La première consiste à établir des bornes du comportement effectif. La seconde repose sur des simulations numériques réalisées à l'aide du code XPER, développé au SEMIA/LPTM. Une nouvelle formulation de type éléments finis devra être implémentée pour tenir compte de la présence d'interfaces imparfaites cohérentes entre les cavités et la matrice d' UO_2 .

➤ **Mardi 31 mars**

17h20-19h00

Théâtre du Moulin

SESSION PLÉNIÈRE

Poussières et explosion

Présidente : Nabiha CHAUMEIX (CNRS Orléans)

Anthony RONDEAU, Étude de la mise en suspension aéraluque appliquée à la problématique des poussières dans le futur réacteur ITER.

Miriam D'AMICO, Étude expérimentale et modélisation des explosions hybrides solides/solides : application au cas des mélanges de poussières graphite/métaux.

Nicolas THERME, Schémas numériques pour la simulation de l'explosion.

Thomas LE DEZ, Approche par similitude du couplage des effets thermiques et du vent sur les transferts de masse dans les réseaux aéraluques des bâtiments complexes.

Sujet de la thèse :**Étude de la mise en suspension aéroulique appliquée à la problématique des poussières dans le futur réacteur ITER.**

Doctorant :	Anthony RONDEAU
Date du début de la thèse :	12/12/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SCA/LPMA
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Eric Chassefière – Université Paris Sud
Tuteur de thèse :	Jean-Christophe Sabroux
École doctorale :	Paris XI, SMEMaG

Le tokamak *ITER* — réacteur de fusion thermonucléaire actuellement en construction à Cadarache — produira, au cours de son fonctionnement opérationnel, une importante quantité de poussières dans les 1500 m³ de sa chambre à vide. Pour des impératifs de sûreté (explosion de poussière ou d'hydrogène, contamination radioactive ou chimique), il est indispensable de quantifier la fraction de particules qui seront potentiellement mises en suspension (M.E.S.) lors d'un éventuel accident de perte de vide (*LOVA*), sachant que l'inventaire maximum a été fixé par l'exploitant à une tonne de poussières.

Afin d'obtenir des informations sur les particules spécifiques à ces réacteurs de fusion, et ainsi sur plusieurs paramètres, tels que la granulométrie et la morphologie des particules, entrant dans le mécanisme de M.E.S., une collecte de poussières dans le tokamak allemand *AUG* (*ASDEX Upgrade: Axially Symmetric Divertor Experiment*) a été effectuée, suivie d'une caractérisation. De ces études, il ressort une distribution granulométrique en nombre bimodale, avec un mode à 0,6 µm composé de particules «floconneuses», et un mode à 1,8 µm composé de particules sphériques.

Ma première campagne d'expériences de M.E.S. de dépôts multicouches dans la soufflerie de l'*ESA* (*European Space Agency*) située au Danemark a mis en évidence une réduction du frottement à basse pression (10 mbar) ainsi qu'une mobilisation des particules «par paquets (*cluster*)», phénomènes qui, actuellement, ne sont pas pris en compte dans les modèles de M.E.S.

Des études de M.E.S. analytiques dans la veine aéroulique BISE (Banc de mise en Suspension par Ecoulement d'air) située à Saclay sont en cours. Deux champs sont explorés: la M.E.S. de dépôts monocouches par microscopie optique, permettant ainsi d'obtenir une information par classe granulométrique (cf. figure 1), et la M.E.S. de dépôts multicouches qui, elle, est étudiée à l'aide d'un système utilisant une cellule photovoltaïque, permettant ici d'obtenir une information sur la cinétique de M.E.S. (cf. figure 2).

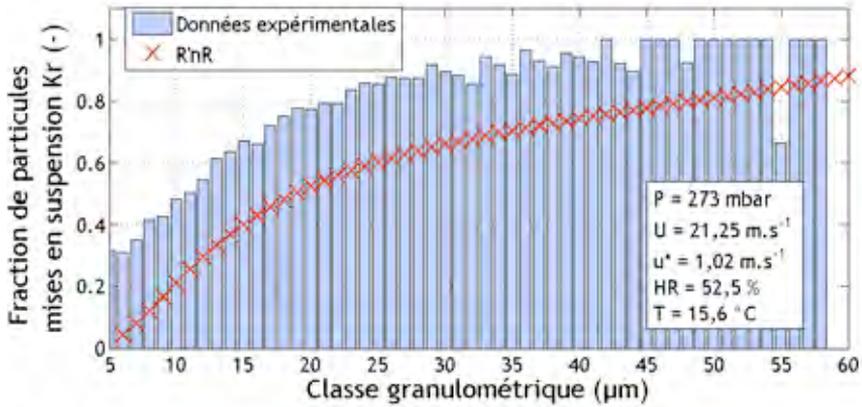


Figure 1: Comparaison des fractions de M.E.S. entre nos données expérimentales et le modèle R'nR.

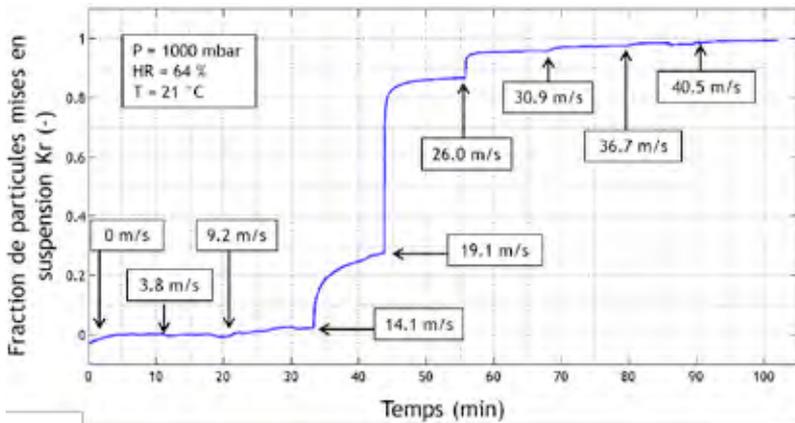


Figure 2 : Cinétique du mécanisme de M.E.S. d'un dépôt de particules multicouches soumis à plusieurs paliers de vitesse.

Comme observé sur la figure 1, le modèle dit *Rock'n Roll* (R'nR) sous-estime les fractions de particules M.E.S. obtenues dans nos expériences. Afin d'améliorer le modèle, des mesures de forces d'adhésion sont actuellement menées par microscopie à force atomique (AFM). La figure 2, montre, pour une vitesse d'écoulement donnée, un effet à court et un effet à long terme, accompagnés d'une zone de transition. Toutes ces expériences conduisent à une meilleure compréhension du phénomène étudié et permettront à terme de valider un modèle multicouches prenant en compte les effets de la basse pression.

Sujet de la thèse :**Étude expérimentale et modélisation des explosions hybrides solides/solides :
application au cas des mélanges graphite/métaux**

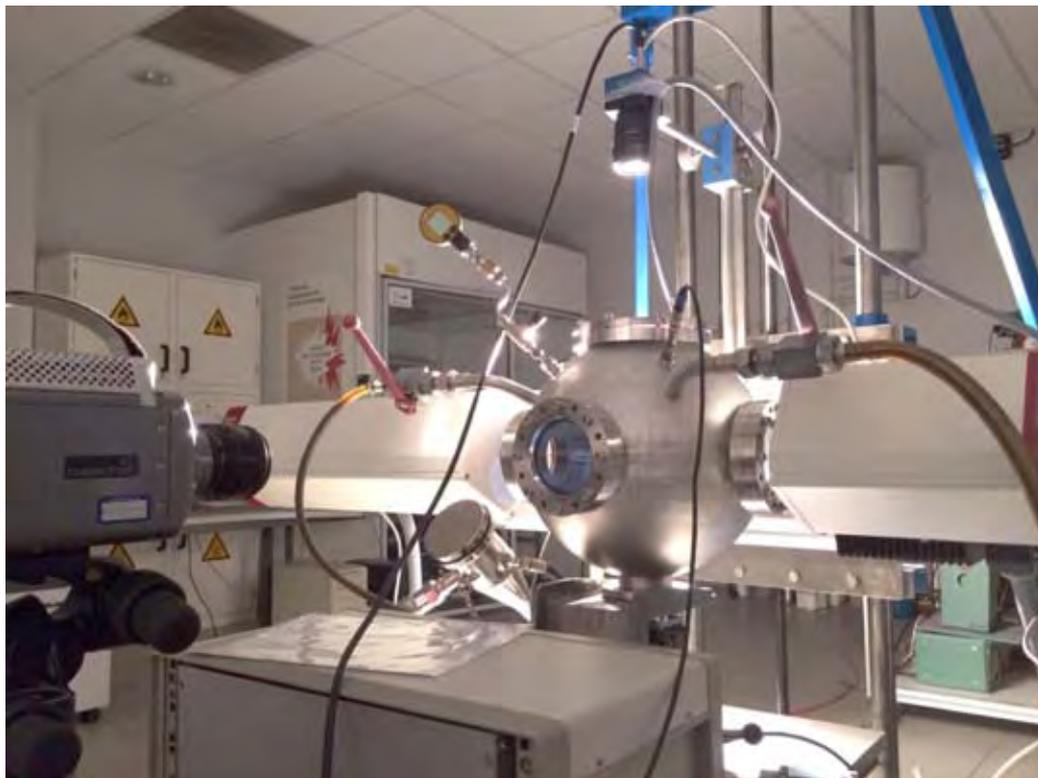
Doctorant :	Miriam D'AMICO
Date du début de la thèse :	16/10/2013
Laboratoire :	PSN-RES/SA2I
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Olivier Dufaud – Laboratoire Réactions et Génie des Procédés - Nancy
Tuteur de thèse :	Jean-Claude Latché
École doctorale :	Université de Lorraine/RP2E

Pendant les dernières décennies, le démantèlement des caissons réacteurs appartenant à la première filière nucléaires française, dite «UNGG» (Uranium Naturel Graphite Gaz), a commencé en même temps que la reprise et le conditionnement de déchets entreposés sous forme pulvérulente dans des silos. Afin d'assurer la sécurité de ces processus, les risques d'occurrence de phénomènes explosifs de mélanges hybrides de poussières de graphite de chemise et de métaux (spécifiquement magnésium et fer) et leurs conséquences éventuelles doivent être évalués. Mon travail de thèse s'inscrit dans ce cadre. Dans un premier temps, une étude expérimentale extensive du comportement explosif des poudres simples et de leurs mélanges a été réalisée, afin de dégager les mécanismes essentiels de leur combustion. Sur cette base, des développements théoriques ont été entrepris ; ils ont pour objectif d'établir des modèles semi-empiriques permettant de représenter l'inflammation des poussières, ainsi qu'un solveur monodimensionnel dédié au calcul de la structure et vitesse de flamme laminaire dans le mélange en suspension.

Les résultats expérimentaux obtenus montrent que l'addition d'un deuxième solide métallique aux poussières de graphite modifie sensiblement le comportement du mélange vis-à-vis de l'explosion et de l'inflammation, soit en nuage, soit en couche. Cet effet est plus ou moins marqué selon le métal ajouté : par exemple, la température minimale d'inflammation du graphite subit une diminution de 48 %, si 30 % massique de magnésium est introduit, alors qu'il n'y a pas de variation avec le même pourcentage de fer. Une influence moins prononcée a également été observée avec ce dernier en analysant les caractéristiques d'explosivité des mélanges. Ces résultats peuvent être expliqués par les différences de propriétés physiques et de cinétiques réactionnelles de ces deux métaux.

La présence d'un deuxième solide influence également la turbulence et, lorsqu'il s'agit d'un métal, le mécanisme de transfert de chaleur par rayonnement dans la flamme. Pour mieux comprendre ces aspects, des expériences complémentaires de propagation de flamme dans un tube vertical sont prévues. En parallèle, le développement d'un modèle de propagation de flamme débute à ce jour. Initialement limité aux poussières de graphite, il permettra d'obtenir les paramètres de sévérité de ce matériau (pression maximale atteinte et vitesse de montée en pression dans la sphère normalisée de 20 litres, en fonction notamment de la granulométrie des poussières) ; il sera ensuite étendu au cas des mélanges hybrides.

.../...



Sujet de la thèse :**Schémas numériques pour la simulation de l'explosion**

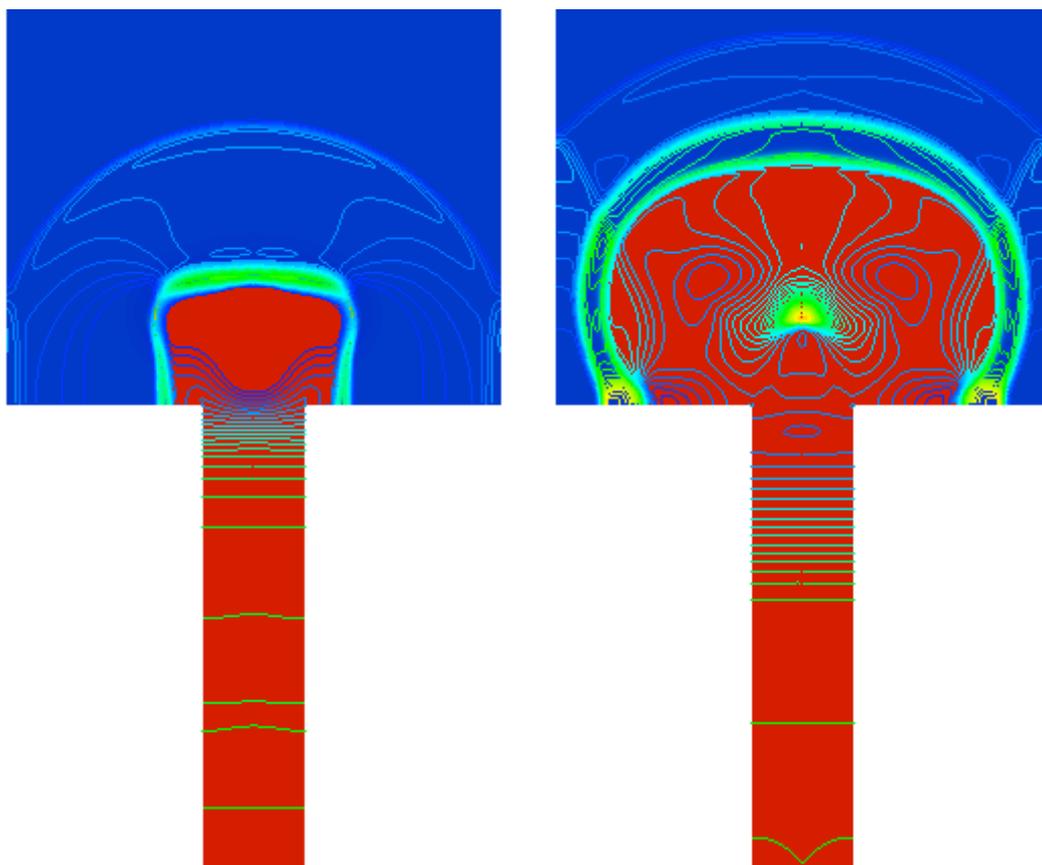
Doctorant :	Nicolas THERME
Date du début de la thèse :	05/11/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SA2I/LIE
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Raphaèle Herbin Université Aix-Marseille
Tuteur de thèse :	Laura Gastaldo
École doctorale :	ED184 : ED mathématiques et informatique de Marseille

Dans les installations nucléaires, les explosions, qu'elles soient d'origine interne ou externe, peuvent entraîner la rupture du confinement et le rejet des matières radioactives dans l'environnement. Afin de pouvoir simuler les conséquences d'un tel accident, l'IRSN a récemment décidé de se doter d'un outil de simulation de l'explosion. C'est dans cette optique que se situe cette thèse en mathématiques appliquées.

Il s'agit de développer une classe de schémas permettant de résoudre numériquement le système d'équations aux dérivées partielles qui modélise le processus d'explosion. La thèse s'oriente autour de deux axes principaux. Tout d'abord le développement d'une classe de schémas volumes finis à mailles décalées explicites pour résoudre les équations d'Euler qui modélisent la dynamique du fluide. Des techniques d'interpolations affines de type *MUSCL* sont utilisées afin d'augmenter la précision du schéma. Un modèle de viscosité numérique artificielle est utilisé afin de stabiliser les solutions numériques et éviter ainsi les oscillations. Les propriétés théoriques de stabilité et de consistance ont, en outre, été démontrées. Elles permettent de s'assurer que certaines grandeurs (masse volumique, énergie interne) ne prennent pas des valeurs non physiques, et que les solutions numériques obtenues correspondent aux solutions physiques observées. Des simulations numériques ont été effectuées dans le but de valider la convergence et la précision du schéma.

Le second axe se concentre sur le développement de schémas explicites permettant de résoudre la *G*-équation, qui est utilisée pour modéliser le front de flamme lors du phénomène de déflagration. Ce dernier est considéré comme une interface au travers de laquelle la réaction de combustion entre les espèces réactives a lieu. La *G*-équation est une équation de type Hamilton-Jacobi particulière permettant de modéliser des propagations d'interfaces. La classe de schémas volumes finis développée se base sur le même type de maillage que pour les équations d'Euler. Une analyse théorique prouvant la convergence de la solution numérique vers la solution du problème continu a été effectuée. Ces résultats théoriques ont été confortés par des simulations numériques en 1D et 2D. L'ensemble de ces schémas a été implémenté dans le code de calcul CALIF^{3S} développé par l'IRSN. On donne ci-dessous un exemple de simulation du modèle complet.

.../...



Simulation d'explosion en enceinte confinée

Bleu/rouge = Gaz frais/Gaz brulé

Lignes de niveau = isovaleurs de pression

Sujet de la thèse :**Étude par similitude du couplage des effets thermiques et du vent sur les transferts de masse dans les réseaux aérauliques des bâtiments complexes**

Doctorant :	Thomas LE DEZ
Date du début de la thèse :	05/11/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SCA/LEMAC
Financement de thèse :	IRSN/CSTB/LaSIE
Directeur de thèse :	Christian INARD – Université de La Rochelle – LaSIE
Tuteur de thèse :	Jérôme RICHARD/Xavier FAURE (CSTB)/François DEMOUGE (CSTB)
École doctorale :	Université de La Rochelle/SI-MMEA

Les installations nucléaires sont dotées d'un réseau de ventilation qui permet de maintenir une cascade de pression entre les différents locaux. Ainsi, les écoulements d'air se font systématiquement des locaux à risques les plus faibles vers les locaux à risques plus élevés, ce qui contribue au confinement des matières radiologiques. Néanmoins, ceci peut être significativement remis en cause en cas de perturbations thermo-aérauliques importantes (vent, dégagement de chaleur,...) qui peuvent produire des inversions indésirables des sens d'écoulement d'air au sein du réseau.

Ces situations peuvent être étudiées numériquement au moyen du code SYLVIA qui simule le comportement d'un réseau de ventilation. Afin de valider celui-ci, il est très délicat de faire des essais à échelle réelle. Aussi, il a été décidé d'adopter une démarche par similitude consistant à reproduire à échelle réduite les effets du couplage thermo-aéraulique sur un réseau de ventilation.

Des travaux précédents, ne concernant que des écoulements isothermes, ont été menés avec succès dans cette optique. L'objectif de cette thèse est d'intégrer la problématique liée à des contraintes thermiques générées par un procédé industriel, éventuellement en dysfonctionnement. Le cas où le réseau de ventilation est partiellement voire totalement arrêté doit également être considéré car les influences des sources de chaleur et du vent sur les transferts de masse dans le réseau de ventilation sont alors maximales.

Le travail réalisé a permis d'élaborer un modèle adimensionnel stationnaire à partir des équations implémentées dans le logiciel SYLVIA. Cette étape a notamment permis de faire les choix nécessaires pour la conception d'une maquette du réseau de ventilation grâce notamment aux valeurs des rapports d'échelle.

Les scénarios de dégagement de chaleur ont été reproduits dans la maquette au moyen d'une injection d'un gaz plus léger que l'air, l'hélium. Suite aux essais de qualification de la maquette, une campagne d'essais a été réalisée dans la soufflerie climatique du CSTB pour une première configuration du réseau de ventilation (cf. Figure 1). Un des objectifs est d'analyser les résultats expérimentaux obtenus en les comparant à ceux obtenus avec le code SYLVIA notamment. Par la suite, une deuxième campagne d'essais en soufflerie est prévue d'ici la fin de la thèse sur une seconde configuration du réseau de ventilation.

.../...



Figure 1: Vue de la maquette du réseau de ventilation d'une installation nucléaire simplifiée placée dans la soufflerie climatique Jules Verne du CSTB de Nantes. (Configuration 1)

➤ **Mardi 31 mars - 20 h 30 - Concours « 3 minutes pour ma thèse »**

L'IRSN organise pour la première fois le concours « **3 minutes pour une thèse** ». Inspiré du concours international **Ma thèse en 180 secondes*** destiné au public profane, il est ici adapté à l'assistance des Journées des thèses, avec une orientation légèrement plus scientifique.

Il s'agit pour les doctorants de présenter leur sujet de recherche en trois minutes, en français et en termes simples, de la façon la plus claire, concise et convaincante possible. Ils ne peuvent s'appuyer que sur une seule diapositive, l'un des objectifs étant pour eux de développer leurs compétences en communication et, pour le public, de se concentrer sur l'intervention.

Un défi de taille et qui permet, avec légèreté, de sortir des sentiers battus en terme de présentation scientifique.

Le concours se déroulera après le dîner et sera animé par Patrick LALOI.

Nicolas BAUDIN, Évaluation du transfert de chaleur en ébullition en film transitoire.

Alicia CUVIER, Accumulations de l'uranium, de ses descendants et des éléments trace métalliques dans les sols de zones humides autour des anciens sites miniers.

Alexandre DECRETON, Détermination expérimentale et modélisation thermodynamique du système Ag-Zr-In.

Camille DE LA TAILLE, Évaluation de l'activité sismique quaternaire des failles du Jura méridional.

Jérémy EYDIEUX, Prendre en compte la sécurité gérée dans les évaluations de sûreté : le cas des activités demanutation.

Azza HABIBI, Analyse de radioéléments en situation post-accidentelle. Détermination d'émetteurs alpha par couplage chromatographie liquide / ICP-MS.

Xavier HALLER, Comportement des matériaux nanoporeux : application au combustible UO_2 .

Élodie MINTET, Changements phénotypiques des cellules endothéliales irradiées : implication de la transition endothélium-mésenchyme dans le développement des complications des radiothérapies.

Florian PARISOT, Étude mécaniste de la toxicité des radiations ionisantes chez *Daphnia Magna*.

Anthony RONDEAU, Étude de la mise en suspension aéraulique appliquée à la problématique des poussières dans le futur réacteur ITER.

* Le concours **Ma thèse en 180 secondes**, lui-même inspiré du **Three minute thesis (3MT)** conçu en 2008 par l'Université du Queensland (Australie), est un concept repris au Québec en 2012 par L'association des savoirs francophones (Afcas), qui a souhaité l'étendre à l'ensemble des pays francophones. En France, le concours est organisé par des regroupements d'universités volontaires avec l'appui du CNRS et de la Conférence des présidents d'université (CPU).

➤ Mercredi 1^{er} avril

08h30 - 10h15

Théâtre du Moulin

SESSION PARALLÈLE

Matériaux : fissuration, fragmentation et vieillissement

Président : Gauzelin BARBIER

Lionel BICHET, Prise en compte des mécanismes de transports dans la fissuration des matériaux hétérogènes : application à la durée de vie d'exploitation des centrales nucléaires.

Tarik MADANI, Identification expérimentale de modèles thermo-mécaniques de zones cohésives pour des sollicitations complexes.

Jack ARAYRO, Comportement de gaz rares confinés dans une matrice céramique à haute température : modélisation par des approches semi-empiriques.

Ahmedou SIDI, Étude de la dégradation de polymères constitutifs de câbles contrôle commande en ambiance nucléaire.

Sujet de la thèse :**Mécanismes de transports dans la fissuration des matériaux hétérogènes :
application à la durée de vie d'exploitation des centrales nucléaires**

Doctorant :	Lionel BICHET
Date du début de la thèse :	01/10/2013
Laboratoire :	LMGC UMII
Financement de thèse :	Université Montpellier II
Directeur de thèse :	Yann Monerie – LMGC Frédéric Dubois - LMGC
Tuteur de thèse :	Frédéric Perales
École doctorale :	Université Montpellier 2, I2S

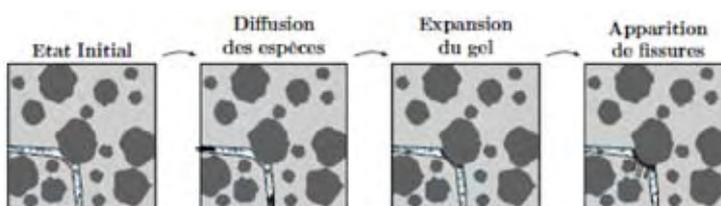
Les matériaux composant les éléments des centrales électronucléaires sont soumis à des contraintes thermiques, mécaniques et d'irradiation. Les mécanismes de vieillissement des composants sont très divers : corrosion, fatigue, irradiation, évolution microstructurale du béton, vieillissement physique et chimique, etc. A l'échelle mésoscopique, celui du Volume Élémentaire Représentatif (VER), les dégradations peuvent être modélisées par le transport d'espèce en solution et la diffusion thermique.

La première année de la thèse a été consacrée à une bibliographie des modèles mésoscopiques à l'aide de la mécanique des milieux poreux. Basée sur les approches de Lewis *et al.*, la construction des modèles consiste à moyenner les équations bilans (masses, enthalpie et quantité de mouvement) sur l'ensemble du VER. Des phénomènes tels que la lixiviation, la réaction alcali-silice et l'agression par choc thermique du béton ont ainsi été étudiés. En première approximation, ces pathologies peuvent être modélisées par des équations de transports moyennés : lois de Fick pour le transport d'espèce en solution et lois de Fourier pour la description de la diffusion thermique.

D'un point de vue de la fissuration, une approche micromécanique, reposant sur les notions de modèles de zone cohésive frottante (MZCF) et de méthodes de modélisation numérique des systèmes multicorps, a été implémentée dans la plateforme numérique Xper. Le code Xper permet de traiter en grandes déformations l'initiation et la propagation de multifissures de matériaux hétérogènes. Le travail actuel consiste à implémenter, dans un premier temps par un couplage faible, l'équation de la chaleur dans le formalisme des MZCF. Les premiers calculs thermomécaniques pourront alors être effectués.

Puis, un couplage de type monolithique, où les équations mécanique et thermique avec fissuration sont traitées simultanément, sera implémenté.

L'objectif est ici d'effectuer des simulations thermomécaniques de béton d'enceinte de confinement soumis à des conditions accidentelles.



Principe d'une dégradation du béton : la réaction alcali-granulats. Les mécanismes de dégradation reposent sur la diffusion d'espèce chimique (ions alcalins) puis à l'expansion d'un gel hydrophile. A l'état final des fissures sont apparues.

Sujet de la thèse :**Identification de modèles thermo-mécaniques de zones cohésives
pour des sollicitations complexes**

Doctorant :	Tarik MADANI
Date du début de la thèse :	18/11/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SEMIA/LPTM
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Bertrand Wattrisse - Université Montpellier
Co-Directeur de thèse :	Yann Monerie, Stéphane Pagano - Université Montpellier
Tuteur de thèse :	Céline Pelissou
École doctorale :	Université Montpellier, Information, Structures, Systèmes (I2S)

Durant leur vie en réacteur, les gaines de combustible nucléaire composées d'alliage à base de zirconium subissent d'importantes modifications de microstructure et passent progressivement d'un alliage monphasé métallique à un matériau fortement hétérogène, ce qui peut occasionner la fragilisation et la ruine préjudiciable de la gaine. Pour modéliser ces mécanismes précédant la ruine, on peut recourir aux modèles de zones cohésives qui rendent compte des différentes étapes de la fissuration. Ils représentent un endommagement surfacique local au travers d'une loi traction-séparation qui conduit à la création de deux lèvres de fissures.

Le but de cette thèse est d'identifier de telles lois d'endommagement surfacique. Pour cela, il est nécessaire dans un premier temps d'estimer localement le champ de contrainte puis dans un deuxième temps d'utiliser la stratégie d'identification de propriétés cohésives développée dans le cadre de la thèse de Shuang Wen pour identifier les modèles de zones cohésives.

Pour cela, on applique une méthode de résolution inverse itérative qui, à partir de la connaissance du champ de déplacement, permet d'identifier le champ de contrainte. Notre méthode se base sur la minimisation d'une fonctionnelle de type « Erreur en Relation de Comportement » dépendant de deux grandeurs physiques: le champ de contrainte et les propriétés mécaniques du matériau qui seront identifiés par une méthode de relaxation.

La procédure d'identification permet aujourd'hui d'estimer ces deux grandeurs physiques pour un comportement élastique et élastoplastique homogène sur des champs hétérogènes. Pour le cas de matériaux présentant une forte hétérogénéité, l'identification est rendue plus complexe du fait de la détermination du tenseur élastoplastique sécant qui dépend de la contrainte équivalente de Von Mises et qui nécessite donc de l'estimer au préalable. Avant d'appliquer la méthode d'identification aux données expérimentales réelles, la procédure proposée est vérifiée en utilisant des champs de déplacement fournis par un calcul éléments finis. La méthode est désormais étendue à la plasticité endommageable. L'introduction dans la fonctionnelle d'un second terme calorimétrique lié aux sources de chaleur est également examinée pour accéder aux sources de chaleur et ensuite faire un bilan d'énergie pour valider thermo-mécaniquement les modèles de zones cohésives identifiés.

Sujet de la thèse :**Étude théorique de bulles de gaz rares dans une matrice
céramique à haute température : modélisation par des
approches semi-empiriques**

Doctorant :	Jack ARAYRO
Date du début de la thèse :	01/10/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SEMIA/LPTM
Financement de thèse :	IRSN/AREVA/CNRS
Directeur de thèse :	Guy Tréglia - CINaM
Tuteur de thèse :	Fabienne Ribeiro
École doctorale :	Université d'aix-marseille Physique et sciences de la matière

Le dioxyde d'uranium UO_2 est le combustible standard utilisé dans les REP. Durant la fission de l'uranium, des gaz rares comme le xénon et le krypton sont générés. Ces atomes ayant une très basse solubilité dans le combustible, ils vont s'assembler sous forme de bulles à l'intérieur de la matrice UO_2 . La présence de ces bulles modifie les propriétés thermomécaniques du combustible.

Le but de ce travail est de caractériser ces modifications. Un précédent travail de thèse a permis de mettre en évidence que, dans le cas simple de cavités vides, les surfaces de ces dernières jouaient un rôle essentiel dans la modification des propriétés thermomécaniques de l' UO_2 . Notre travail vise à généraliser cette conclusion au cas de cavités remplies par du xénon, en modélisant les effets d'interfaces entre le gaz et la matrice par des approches théoriques à l'échelle atomique.

Afin d'isoler les effets liés à la présence de la surface de ceux liés au confinement, nous avons commencé par l'étude des systèmes plus simples: xénon pur, puis confiné entre deux couches minces d' UO_2 , et enfin adsorbé sur une surface libre d' UO_2 . Les isothermes d'adsorption/désorption correspondants mettent en évidence l'existence d'une transition de phase structurale entre une phase diluée et une phase dense de xénon lorsque le potentiel chimique de ce dernier augmente. L'analyse des microstructures et des fonctions de distribution radiale correspondantes montre une coexistence entre les structures cubique à faces centrées, cubique centrée et hexagonale compacte en accord avec le diagramme de phase du xénon. Dans le xénon pur, nous avons montré que la pression augmente avec la densité mais reste indépendante de la température et de la structure à densité constante. Dans le cas de UO_2 pur, la création de surfaces induit un profil de pression qui s'amortit sur un nombre très limité de couches.

L'étape suivante consistera à déterminer l'impact de l'adsorption de xénon sur ces profils de pression, puis à étendre cette étude au cas d'une cavité. Enfin, l'analyse en champ moyen de l'ensemble des résultats permettra d'alimenter les études aux échelles supérieures.

.../...

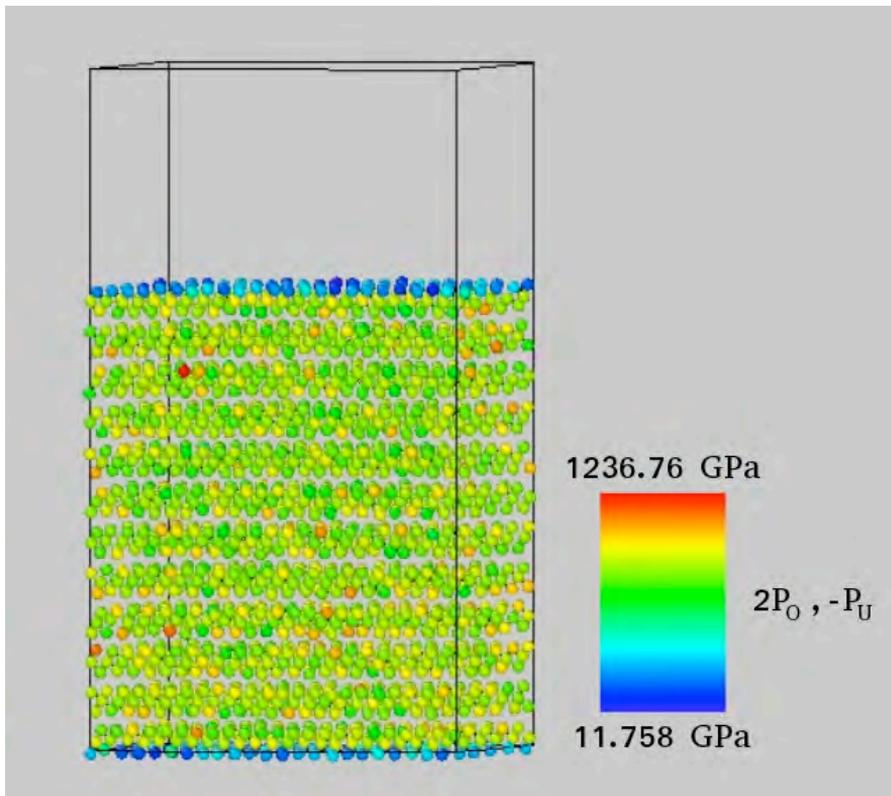


Illustration 1: Profil de pression par atome pour une surface (111) d' UO_2 à 300K

Sujet de la thèse :

**Étude de la dégradation radiolytique de polymères constitutifs
de câbles contrôle commande K1 en ambiance nucléaire**

Doctorant :	Ahmedou SIDI
Date du début de la thèse :	02/12/2013
Laboratoire :	IRS[N]/PSN-RES/SEREX/L2EC
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Agnès RIVATON-ICCF
Tuteur de thèse :	Juliette COLOMBANI
École doctorale :	Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand École doctorale des Sciences Fondamentales

L'objectif de ce travail de thèse est d'étudier la dégradation des matériaux polymères constitutifs de l'isolant de câbles contrôle commande K1 en ambiance nucléaire dans des conditions représentatives du vieillissement en réacteur (50°C, 0.1Gy/h, 70 % d'Humidité Relative), et de proposer les mécanismes réactionnels dominants. Pour ce faire, on se propose d'établir la corrélation entre la perte des propriétés mécaniques et d'usage du matériau avec l'évolution de ses caractéristiques chimiques. En effet, dans la majorité des cas, la perte des propriétés d'usage d'un matériau résulte d'une modification de la structure chimique du polymère, entraînant une modification de son architecture macromoléculaire ce qui va induire une modification de ses propriétés macroscopiques et donc une perte des propriétés d'usage.

L'étude porte sur les polymères constitutifs de l'enveloppe isolante d'un câble contrôle commande K1 de marque NEXANS – 2013. L'isolant est à base d'EVA (éthylène-acétate de vinyle) et d'EPDM (éthylène-propylène-diène monomère), avec un fort taux de charge de type ATH (trihydrate d'alumine), mais sa composition exacte ne peut être déterminée de façon précise. Pour pallier ce problème, l'approche mise en œuvre dans ce travail est basée sur l'étude préliminaire de matériaux modèles qui permettront d'élucider l'influence de la charge, de la partie EPDM et vinyle acétate ainsi que le mode de réticulation.

Les matériaux sont soumis à différents type de vieillissements accélérés: effets séparés, couplés et successifs température/irradiation, influence du débit de dose, du taux d'humidité, de la dose.

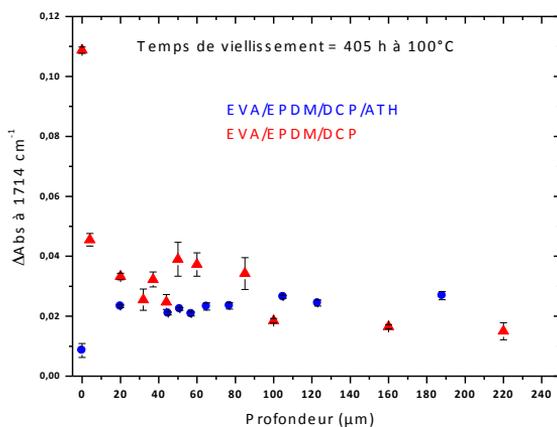


Figure 1: Evolution de l'intensité de la bande à 1714 cm^{-1} en fonction de l'épaisseur pour des échantillons thermoxydés à 100 °C .

.../...

L'approche physico-chimique du vieillissement thermique a permis de montrer que la présence de la charge modifie le profil d'oxydation (cf. Fig. 1), différence qui pourrait être reliée à la taille des volumes libres au sein des matériaux avant vieillissement. Autre résultat intéressant, un échantillon à base de PE se dégrade moins vite qu'un échantillon à base d'EVA et, dans ce dernier cas, on observe la dégradation de la partie vinyle acétate. Cela conduit à la formation de groupements de type acide carboxylique, révélateurs de coupures de chaîne, dont certains de bas poids moléculaire migrent en phase gaz.

Ces résultats obtenus sur les matériaux modèles vont permettre d'appréhender la dégradation de l'isolant du câble dont l'analyse est rendue difficile par la présence d'adjuvants. La dernière étape de ce travail sera d'établir les conséquences du vieillissement sur les propriétés à long terme de l'isolant.

➤ Mercredi 1^{er} avril

08h30 - 10h15

Salon d'honneur

SESSION PARALLÈLE

Faibles doses : transports biologiques & effets

Président : François PAQUET

Antoine LE GUERNIC, Impact de la contamination pluri-métallique à tendance uranifère sur le milieu aquatique et conséquences sur les réponses immunitaires et les capacités adaptatives du poisson.

Stefania MUSILLI, Étude des mécanismes d'action du Strontium 90 sur le système immunitaire à la suite d'une contamination chronique.

Marie LEGRAND, Une contamination interne chronique à l'uranium modifie-t-elle le processus de la neurogenèse au cours du développement et à l'âge adulte chez le rat ?

Laure GENIES, Étude des transporteurs impliqués dans l'absorption racinaire et la translocation aux parties aériennes du césium chez *Arabidopsis thaliana*.

Sujet de la thèse :

Impact de la contamination pluri-métallique à tendance uranifère sur l'épinoche à trois-épines et sur ses capacités d'acclimatation lors d'une combinaison de stress

Doctorant :	Antoine LE GUERNIC
Date du début de la thèse :	29/10/2012
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/LECO
Financement de thèse :	IRSN/INERIS
Directeur de thèse :	Stéphane Betoulle - URCA
Tuteur de thèse :	Béatrice Gagnaire (IRSN) et Wilfried Sanchez (INERIS)
École doctorale :	Reims Champagne-Ardenne/Sciences Technologie Santé

Les activités anthropiques ont augmenté les niveaux de plusieurs contaminants dans les écosystèmes aquatiques, dont les métaux. Parmi ces métaux, les concentrations uranifères doivent leur augmentation à l'extraction et à l'utilisation de l'uranium dans le cycle nucléaire. Même après la fin de l'extraction de l'uranium en France, les concentrations en uranium restent importantes au niveau des anciens sites miniers et peuvent être retrouvées dans les milieux aquatiques proches. En plus des métaux naturellement présents au niveau de ces sites miniers (uranium, fer, manganèse), l'aluminium et le baryum, utilisés pour précipiter l'uranium et ses descendants, viennent enrichir la contamination polymétallique présente dans les hydrosystèmes avoisinants. Il est donc important d'évaluer le risque environnemental lié à ces rejets miniers.

La thèse a pour objectifs : i) d'étudier les effets de cette contamination polymétallique sur l'épinoche (*Gasterosteus aculeatus*) et ii) d'observer les capacités d'acclimatation des poissons suite à une combinaison de stress (chimique et biologique).

Pour répondre au premier objectif, une première expérience *in situ* a été réalisée au printemps 2013. Les épinoches ont été encagées dans deux étangs soumis à des rejets miniers situés dans deux départements français (Haute-Vienne et Cantal). Les réponses de ces épinoches sont comparées à celles des épinoches encagées dans des étangs en dehors de l'influence de rejets miniers (deux par département), 14 et 28 jours après la mise en eau. Les étangs soumis aux rejets miniers présentent les plus fortes concentrations en uranium, aluminium et manganèse. Cependant seule la bioaccumulation de l'uranium dans les organes des poissons reflète la contamination du milieu. La contamination polymétallique entraîne un stress oxydant (production d'espèces réactives de l'oxygène et altération du système antioxydant), une peroxydation lipidique et des dommages à l'ADN.

Pour répondre au deuxième objectif, les épinoches sont encagées dans les 3 étangs de la Haute-Vienne. Au bout de 14 jours, les poissons subissent une injection de lipopolysaccharides, induisant un stress biologique (Figure 1). Quatre jours après ces injections les épinoches sont sacrifiées pour l'analyse de plusieurs biomarqueurs. Les épinoches qui sont préalablement exposées au stress chimique (contamination polymétallique) se défendent moins bien lors d'un stress biologique soudain (injection de lipopolysaccharides).

.../...

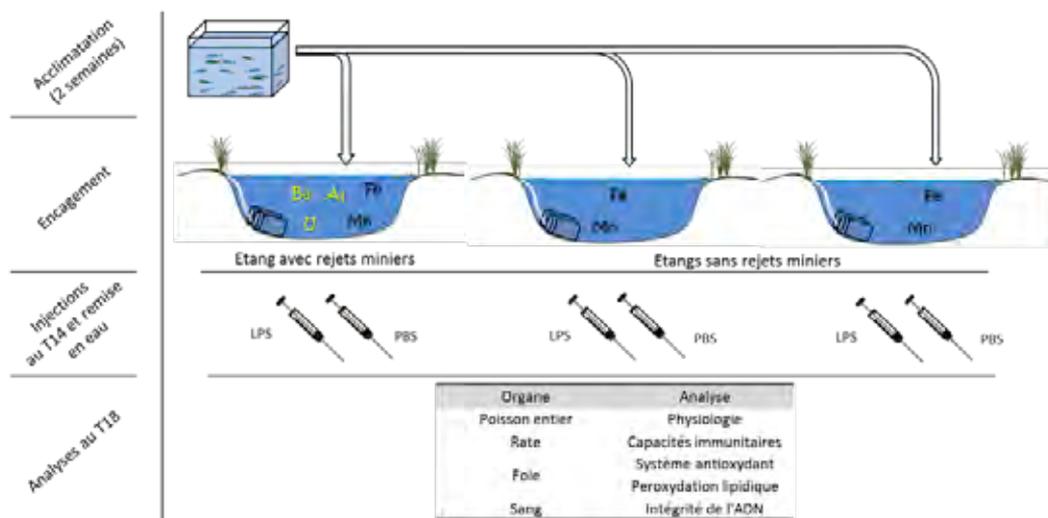


Fig. 1: Schéma du protocole de la deuxième expérimentation in situ.
 LPS: lipopolysaccharides; PBS: phosphate-buffered saline.

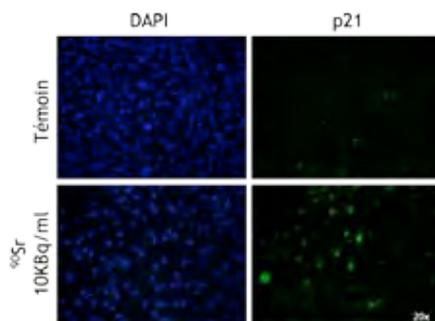
Sujet de la thèse :

Étude des mécanismes d'action du ^{90}Sr sur le système immunitaire
à la suite d'une contamination chronique

Doctorant :	Stefania MUSILLI
Date du début de la thèse :	01/10/2012
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LRTOX
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Jean-Marc Bertho (IRSN) et Saadia Kerdine-Römer Université Paris Sud
Tuteur de thèse :	Jean-Marc Bertho
École doctorale :	Paris XI/ED425 Innovation Thérapeutique

Dans le cadre du programme ENVIRHOM (évaluation des risques liés à l'exposition chronique de radionucléides à la fois sur l'environnement et sur la santé de l'homme), les études antérieures du laboratoire ont montré que le ^{90}Sr ingéré à faible concentration s'accumule préférentiellement dans l'os et qu'il a un effet à la fois sur le système immunitaire et sur la physiologie osseuse. L'objectif de cette thèse est donc de comprendre comment le ^{90}Sr accumulé dans l'os conduit aux modifications fonctionnelles précédemment observées. L'une des hypothèses envisagées est que le rayonnement β^- émis lors de la désintégration du ^{90}Sr agirait sur les cellules souches mésenchymateuses (CSM) situées à proximité du tissu osseux.

Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons utilisé un modèle de contamination *in vitro* sur une lignée pré-adipocytaire de cellules stromales murines (MS5). Dans ce modèle, les cellules sont contaminées avec 1 ou 10 KBq/ml de ^{90}Sr dans le milieu de culture, la durée de contamination allant de 30 minutes à 7 jours. Les résultats obtenus montrent qu'après seulement 30 minutes d'exposition il y a une accumulation de cassures double brin dans l'ADN cellulaire de façon dose-dépendante. A plus long terme, nous avons observé une augmentation du nombre de cellules en sénescence, ceci ayant pour conséquence une diminution de la prolifération cellulaire ainsi qu'une augmentation de la différenciation en adipocytes. Cependant aucune modification des phases du cycle cellulaire, du taux de mortalité ou encore du niveau de stress oxydant n'ont été mises en évidence.



Les modifications liées aux dommages à l'ADN induites par le ^{90}Sr pourraient conduire à une altération de la fonction de soutien à l'hématopoïèse par les MS5. Cette fonction a été évaluée grâce à des cultures de cellules de moelle osseuse en milieu conditionné. Nous avons pu mettre en évidence une augmentation significative du nombre de CFU-G à partir de progéniteurs hématopoïétiques en réponse à la contamination, sans pour autant constater de changements dans la production de cytokines spécifiques.

En parallèle, un modèle de contamination chronique *in vivo* par 4, 20 ou 100 KBq/l de ^{90}Sr est actuellement en cours d'exploration afin de définir l'amplitude et la spécificité des effets du ^{90}Sr sur les systèmes immunitaire et osseux, mais également de déterminer l'existence d'une dose-réponse.

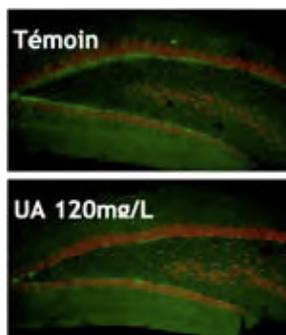
Sujet de la thèse :

Une contamination interne chronique à l'uranium appauvri modifie-t-elle le processus de neurogenèse au cours du développement cérébral et à l'âge adulte chez le rat ?

Doctorant : Marie LEGRAND
 Date du début de la thèse : 03/10/2012
 Laboratoire : PRP-HOM/SRBE/LRTOX
 Financement de thèse : TAF
 Directeur de thèse : Per Eriksson – Uppsala University
 Tuteur de thèse : Céline Dinocourt
 École doctorale : Université Paris-Sud, ED 425 :
 Innovation thérapeutique : du fondamental à l'appliqué

L'uranium est un radionucléide présent dans l'environnement. Ces utilisations civiles ou militaires augmentent sa dissémination dans l'environnement et soulèvent des questions de santé publique. Plusieurs études expérimentales démontrent des effets de l'uranium sur les fonctions cognitives. L'objectif de cette thèse est d'étudier l'implication de la neurogenèse en tant que possible mécanisme d'action expliquant ces perturbations cognitives.

NeuN (rouge)/DCX (vert)



La neurogenèse est étudiée chez des animaux contaminés à l'uranium appauvri (UA 40 et 120mg/L) dès le stade *in utero*. Plusieurs stades du développement sont étudiés: des embryons contaminés pendant les 13 ou 18 premiers jours de gestation; des nouveau-nés contaminés pendant toute la période de gestation; des rats et rats contaminés *in utero* jusqu'à 5, 21 jours ou 2 mois après la naissance. Nous avons étudié la morphologie structurale du cerveau (crésyl violet), la prolifération cellulaire (BrdU), la mort cellulaire (caspase 3 activée, fluorojade et expression de gènes apoptotiques), la différenciation cellulaire (NeuN/Doublecortin(DCX)). Au stade 2 mois, la mémoire spatiale, les activités exploratrice/locomotrice et la dépression ont été évaluées.

Au cours du développement cérébrale *in utero*, nous avons démontré que l'UA entraîne une augmentation de la prolifération cellulaire dans le neuroepithelium denté (futur gyrus denté) et a un effet inhibiteur sur la voie apoptotique. Au contraire, une contamination *in utero* jusqu'au stade postnatal entraîne une diminution de la prolifération cellulaire dans le gyrus denté et a un effet stimulateur sur la voie apoptotique. Les animaux contaminés jusqu'au stade 2 mois présentent une diminution de leur mémoire spatiale et une augmentation de la dépression. En parallèle, une diminution de l'expression de la doublecortine a été observée dans le gyrus denté de ces animaux.

Ces résultats suggèrent que l'exposition à l'UA induit des modifications dans le processus de la neurogenèse au cours du développement et à l'âge adulte. Pendant le développement, ces perturbations pourraient avoir un impact sur l'organisation des réseaux neuronaux. A l'âge adulte, une modification de la différenciation neuronale pourrait perturber l'intégration de nouveaux neurones dans les réseaux neuronaux et ainsi altérer la plasticité synaptique. Une modification de ces deux processus pourrait ainsi conduire aux perturbations comportementales observées à l'âge adulte.

Sujet de la thèse :

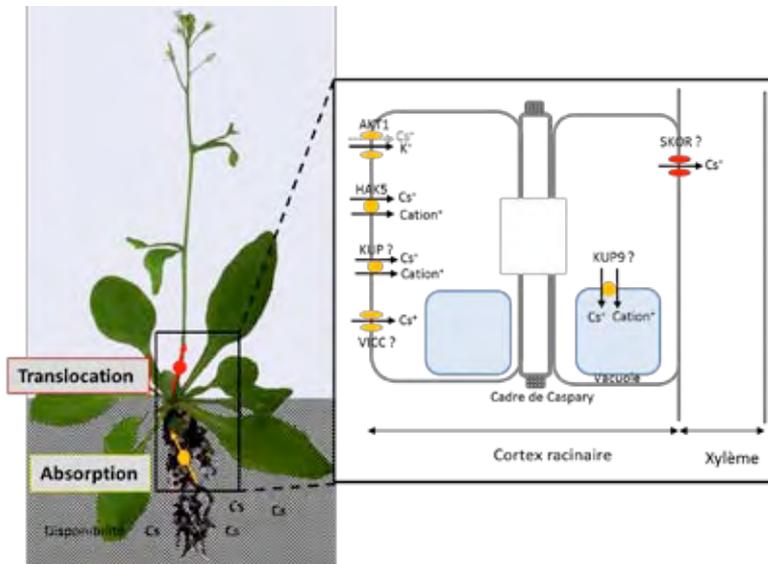
Étude des transporteurs impliqués significativement dans l'absorption racinaire et la translocation aux parties aériennes du césium chez *Arabidopsis thaliana*

Doctorant : Laure GENIES
Date du début de la thèse : 07/10/2013
Laboratoire : PRP-ENV/SERIS/L2BT
Financement de thèse : IRSN/CEA
Directeur de thèse : Alain VAVASSEUR - CEA
Tuteur de thèse : Pascale HENNER
École doctorale : Université Aix-Marseille/
 École doctorale des Sciences de la Vie et de la santé

La reconquête des territoires, notamment agricoles, contaminés en ¹³⁷Cs (isotope radioactif du Cs) après un accident devra s'appuyer sur un ensemble de technologies de décontamination et de gestion adaptée. Les capacités des plantes à ne pas transférer le Cs (safe food) ou à le concentrer dans leurs parties aériennes (phytoremédiation) sont une des pistes étudiées au sein du projet ANR-RSNR DEMETERRES.

L'absorption de Cs est inégale entre et au sein d'une même espèce végétale. Ainsi, outre la disponibilité du Cs dans le sol, des propriétés qui sont propres à la plante influencent également le transport du Cs. Les flux d'éléments chez les végétaux étant régulés par des transporteurs, l'objectif est ici l'identification et la caractérisation fonctionnelle de transporteurs significativement impliqués dans le transport du Cs.

Le Cs n'a aucun rôle physiologique connu et présente même une toxicité dans certaines conditions chez les végétaux. L'existence de transporteurs spécifiques du Cs est donc improbable. En revanche, du fait d'analogie avec le potassium (K), le Cs emprunterait majoritairement les voies de transport dédiées au K.



La méthode adoptée consiste donc à comparer les flux de Cs entre des mutants déficients en un transporteur de K et l'écotype sauvage de référence.

Des banques de mutants conséquentes existant déjà pour cette espèce, *Arabidopsis thaliana* a été choisi comme modèle d'étude.

Les résultats ont montré que l'absorption racinaire de Cs par l'écotype sauvage augmente à faible concentration externe en K (10 μ M). Cette augmentation n'est pas totalement expliquée par une baisse de la compétition K/Cs à faible niveau de K. L'induction du transporteur potassique HAK5, appartenant à la famille des transporteurs de type KUP, dont l'implication dans le transfert de Cs est démontrée, participerait également à cette augmentation. Des expériences de transfert et de toxicité montrent que KUP9, appartenant à la même famille que HAK5, est impliqué dans le transfert de Cs sans que l'absorption racinaire ne semble modifiée. L'étude du schéma d'expression et de la localisation de la protéine KUP9 *in planta* par l'utilisation de gènes rapporteurs est donc en cours de développement afin de comprendre son rôle dans les flux de Cs.

➤ Mercredi 1^{er} avril

10h55-12h10

Théâtre du Moulin

SESSION PARALLÈLE

Accidents graves

Président : Thierry BOURGOIS

Rémi CLAVIER, Étude expérimentale et modélisation des pertes de pression lors du renoyage d'un lit de débris.

Sebastian CASTRILLON ESCOBAR, Instabilités et dispersion des jets de corium liquides : analyse des processus physiques et modélisation dans le logiciel MC3D.

Faoulat MIRADJI, Modélisation du comportement du ruthénium lors de son transport dans le circuit primaire.

Sujet de la thèse :**Étude expérimentale et modélisation des pertes de pression
lors du renoyage des lits de débris**

Doctorant :	Rémi CLAVIER
Date du début de la thèse :	05/11/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SEREX/LE2M
Financement de thèse :	IRSN/EDF
Directeur de thèse :	Michel Quintard – IMFT Florian Fichot - IRSN
Tuteur de thèse :	Nouridine Chikhi
École doctorale :	SDU2E – INP Toulouse

Lors d'un accident grave, le cœur d'un réacteur peut s'effondrer et former un amas de débris. Pour éviter la fusion du cœur et le percement de la cuve, les circuits d'injection de sécurité sont utilisés pour renoyer le cœur avec l'eau disponible. Le renoyage d'un lit de débris à haute température est piloté par les échanges thermiques et les frottements (ou pertes de charge) entre le fluide et le solide. L'objectif de la thèse est d'étudier les pertes de charges lors du renoyage d'un lit de débris dans des conditions représentatives du cas réacteur: on s'intéresse à des lits de débris complexes non-sphériques et de tailles multiples, pour des écoulements monophasiques ou diphasiques eau-air.

La première partie de ce travail a été consacrée à l'étude expérimentale des pertes de charge monophasiques. Une corrélation permettant de prédire la perte de charge de manière précise (à moins de 10% près) et prenant en compte la non-sphéricité et la distribution en taille des particules a été déterminée.

Dans un second temps, des simulations numériques d'écoulements monophasiques en milieu poreux ont été réalisées pour évaluer le domaine d'applicabilité de la corrélation. L'influence de la structure de l'espace poral et de la rugosité des particules sur le comportement macroscopique des pertes de charge a ainsi été étudiée.

Cela a conduit à implémenter une nouvelle loi de perte de charge dans le code ASTEC, référence dans le domaine des accidents graves.

La troisième partie de la thèse porte sur l'étude des pertes de charge en écoulements diphasiques eau/air à travers des lits de débris. Cette étude a nécessité, au préalable, la mise au point d'une instrumentation spécifique, notamment d'une nouvelle technique de mesure du taux de vide, qui est un paramètre essentiel à la modélisation des écoulements diphasiques. Cette technique a fait l'objet d'un dépôt de brevet en février 2015.

Lors de la première campagne d'essais diphasiques, la perte de charge et le taux de vide dans un lit de billes de diamètre 8 mm ont été mesurés sur une large gamme de débits d'air et d'eau. Ces essais ont montré la nécessité de modéliser les frottements à l'interface eau/air.

.../...



La section d'essai de l'installation CALIDE contenant un lit de débris

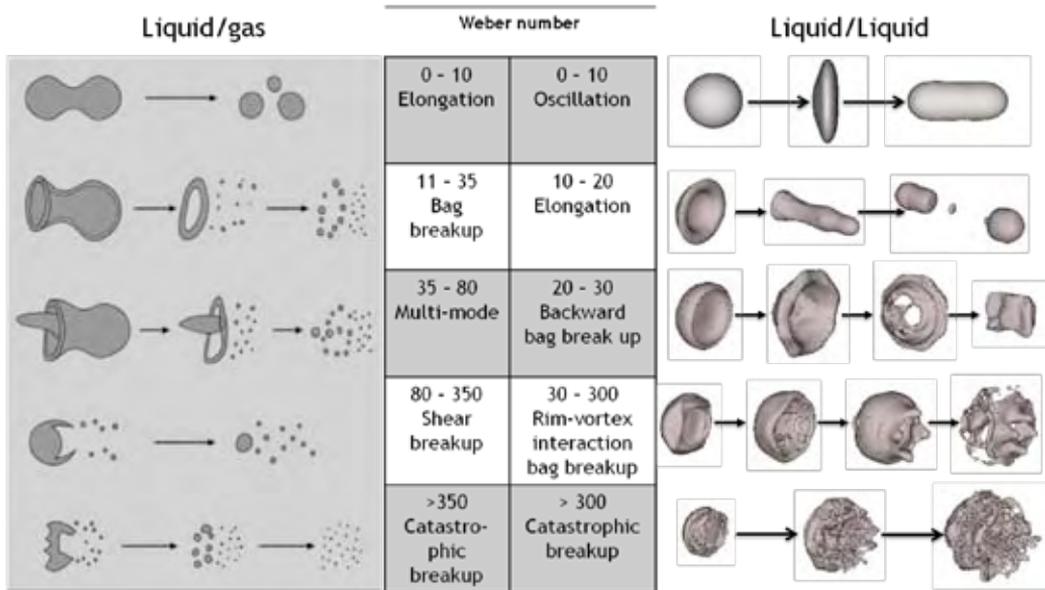
Sujet de la thèse :**Instabilité et dispersion des jets de corium liquides :
Analyse des processus physiques et modélisation dans le logiciel MC3D**

Doctorant :	Sebastian CASTRILLON ESCOBAR
Date du début de la thèse :	15/11/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/LEPC
Financement de thèse :	Projet ANR-RSNR/ICE
Directeur de thèse :	Michel GRADECK - LEMTA, Université de Lorraine
Tuteur de thèse :	Renaud MEIGNEN (IRSN), Nicolas RIMBERT (LEMTA)
École doctorale :	Nancy I – Energie, Mécanique, Matériaux – ED409

Lors du déroulement d'un accident nucléaire grave avec fusion du combustible dans une centrale nucléaire, l'écoulement du combustible fondu (corium) et son interaction avec l'eau à l'intérieur ou à l'extérieur de la cuve, peut déclencher une explosion de vapeur. Il est important de mieux comprendre la physique relative à la fragmentation et à la dispersion de corium dans le but d'améliorer les connaissances sur l'interaction corium-réfrigérant (ICR) et sa modélisation via des codes de simulation numérique multiphasique (MC3D). Cette thématique est un des axes majeurs du projet de recherche ICE (IRSN/CEA/LEMTA/EDF/AREVA) sélectionné par l'ANR dans le cadre du projet de Recherche en Sureté Nucléaire et Radioprotection (RSNR). L'objectif de la thèse est d'apporter des améliorations à la compréhension et à la modélisation de ce phénomène.

La fragmentation du corium est un processus multi-échelle où le jet de corium est transformé en gouttes puis en fragments ; les modèles développés en seconde année de thèse dans l'application dédiée à l'étude du prémélange (PREMEL) de MC3D supposent que la fragmentation est le résultat d'une fragmentation primaire (passage jet-gouttes) piloté par les grandes échelles de l'écoulement (longueur de la zone de mélange) et d'une fragmentation secondaire (passage de gouttes en fragments) dépendante des paramètres locaux de l'écoulement. Cependant, les modèles de fragmentation secondaire sont basés sur diverses hypothèses discutables du fait du manque de données expérimentales. Pour cette raison, des études détaillées à l'aide de simulations numériques directes (DNS) de la fragmentation de gouttes de métal liquide dans l'eau (en conditions isothermes) effectuées pendant la seconde année de thèse ont permis de mieux comprendre la dynamique de la fragmentation de gouttes et d'identifier les mécanismes responsables de leur rupture. Les résultats issus des DNS seront par la suite combinés avec les modèles développés dans MC3D.

.../...



Classification de régimes de fragmentation de gouttes. Gauche : classification pour les systèmes liquide/gaz et droite, notre classification pour les systèmes liquide/liquide issue de résultats de simulations numériques effectuées dans le cadre de la thèse.

Sujet de la thèse :**Modélisation du comportement du ruthénium lors de son transport
dans le circuit primaire**

Doctorant :	Faoulat MIRADJI
Date du début de la thèse :	01/10/2013
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/LETR
Financement de thèse :	ANR(EVAST)
Directeur de thèse :	Florent Louis /Université de Lille I
Tuteur de thèse :	Laurent CANTREL
École doctorale :	Lille 1 - Sciences de la Matière du Rayonnement et de l'Environnement SMRE - ED104

Lors d'un Accident Grave (AG) survenant à un réacteur nucléaire à eau pressurisée, sous atmosphère fortement oxydante, des relâchements importants de ruthénium, depuis le combustible dégradé, sont attendus du fait de la formation d'oxydes gazeux⁽¹⁾. Les composés de Ru présentent un danger d'un point de vue sanitaire lié aux isotopes ¹⁰³Ru et ¹⁰⁶Ru, radio-contaminants de demi-vie respectives de 39 et 365 jours susceptibles d'être relâchés à l'environnement. En outre l'oxyde RuO₄, fortement volatil, peut être présent en conditions AG⁽²⁾. L'évaluation de ce terme source, avec le code de simulation des accidents graves ASTEC, présente aujourd'hui des incertitudes importantes, liées entre autres aux données thermochimiques des composés de ruthénium gazeux avec des disparités entre les valeurs de la littérature pour les oxydes. Concernant les oxy-hydroxydes, les données sont très rares et celles disponibles sont sujettes à caution.

Le travail présenté ici concerne la détermination des propriétés thermochimiques des oxydes et oxy-hydroxydes gazeux de ruthénium à l'aide d'outils de chimie quantique. Les énergies de réactions conduisant à la formation des oxydes RuO, RuO₂, RuO₃ et RuO₄, ont été calculées en combinant différents niveaux de théorie (DFT, CASSCF, MRCI, CASPT2, CCSD(T)) afin de prédire les paramètres géométriques et énergétiques, incluant la corrélation électronique et le couplage spin-orbite. L'utilisation de la fonctionnelle TPSSh-5% HF pour l'optimisation de la géométrie, suivie par un calcul des énergies électroniques totales en CCSD(T) via l'extrapolation de base complète (CBS) permet d'obtenir des enthalpies standards de formation avec un bon niveau de précision, en excellent accord avec les données expérimentales les plus fiables. Conforté par ces résultats sur les oxydes, la méthodologie a été étendue aux oxy-hydroxydes de ruthénium.

A la lumière de ces nouvelles données thermodynamiques, des calculs de spéciation chimique ont été effectués afin de prédire les espèces gazeuses les plus stables mises en jeu lors du transport du ruthénium dans le circuit primaire sous atmosphère oxydante. Une prochaine étape sera l'interprétation d'essais réalisés dans le cadre du projet expérimental OCDE STEM/START (cf schéma) qui étudie le transport du ruthénium dans un gradient thermique, représentatif du circuit primaire⁽³⁾.

.../...



Figure 1 START: Study of the Transport of RuThenium on the primary circuit, an OCDE/STEM project is an experimental study in order to measure quantification and deposition of ruthenium under primary circuit conditions.

[1] Pontillon, Y.; Ducros, G. Behaviour of fission products under severe PWR accident conditions. The VERCORS experimental programme Part 3: Release of low-volatile fission products and actinides. Nucl. Eng. Des. 2010, 240, 1867-1881.

[2] Mun, C.; Cantrel, L.; Madic, C. Review of Literature on Ruthenium Behavior in Nuclear Power Plant Severe Accidents. Nucl. Technol. 2006, 156, 332-346.

[3] O. Leroy, M.N. Ohnet, S. Planteur-Kieffer, "Study of the Ruthenium transport in the primary circuit in case of a PWR severe accident", EMSAR 2015 conference, Marseille (France).

➤ Mercredi 1^{er} avril

10h55-12h10

Salon d'honneur

SESSION PARALLÈLE

Fortes doses : effets et thérapies

Président : Jocelyne Aigueperse

Elodie MINTET, Changements phénotypiques des cellules endothéliales irradiées : implication de la transition endothélium-mésenchyme dans le développement des complications des radiothérapies.

Cyprien JAILLET, Modifications radio-induites du glycome des protéines membranaires endothéliales : implications sur le recrutement des cellules circulantes et sur la thrombose vasculaire dans le tissu irradié.

Benoît USUNIER, Biothérapie du traitement des effets secondaires de la radiothérapie ; étude préclinique du traitement des effets secondaires des radiothérapies abdomino-pelviennes par les Cellules Souches Mésenchymateuses chez le rat Sprague-Dawley dans un modèle d'irradiation fractionnée pelvienne.

Sujet de la thèse :**Changements phénotypiques des cellules endothéliales irradiées :
Implication de la transition endothélium-mésenchyme dans le développement
des complications des radiothérapies**

Doctorant :	Elodie MINTET
Date du début de la thèse :	01/10/2012
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/L3R
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Agnès FRANCOIS
Tuteur de thèse :	Agnès FRANCOIS
École doctorale :	ED 394 Physiologie Physiopathologie et Thérapeutique/Paris 6

La fibrose digestive est une complication secondaire tardive de la radiothérapie observée chez 5 à 10% des patients traités pour des tumeurs de la sphère abdomino-pelvienne. Elle fait suite à l'exposition du tissu sain pouvant se trouver dans le champ d'irradiation de la tumeur. La fibrose est caractérisée par une accumulation excessive de matrice extracellulaire synthétisée par les cellules mésenchymateuses dans le tissu lésé pouvant conduire à une obstruction digestive dans les cas les plus avancés. La transition endothélium-mésenchyme (EndoMT), est un processus au cours duquel les cellules endothéliales expriment des protéines spécifiques des cellules mésenchymateuses en réponse au stress. L'EndoMT a récemment été identifiée comme une source potentielle de cellules mésenchymateuses participant à la fibrose chez des patients atteints de maladies inflammatoires intestinales et dans un modèle préclinique d'inflammation digestive. Le but de cette étude est donc de déterminer le rôle de l'EndoMT dans le développement de la fibrose intestinale radio-induite et d'essayer d'identifier des cibles thérapeutiques.

Les résultats obtenus ont confirmé que l'irradiation induit l'EndoMT *in vitro* dans 2 modèles de cellules endothéliales (HUVECs et HIMECs), 7 jours après une irradiation de 10 Gy. Ce phénomène a été caractérisé par la diminution d'expression de marqueurs endothéliaux (facteur von Willebrand) et l'augmentation significative de l'expression de marqueurs mésenchymateux (l'alpha smooth muscle actin). *In vivo*, un modèle d'irradiation colorectale en dose unique de 27 Gy chez la souris (Tie2-GFP) a été utilisé pour confirmer ces observations. Ce modèle transgénique nous a permis de suivre le devenir des cellules endothéliales et d'identifier l'EndoMT chez la souris 7 et 14 jours après irradiation. Les analyses de l'expression génique des HUVECs irradiées ont montré que l'acquisition du phénotype d'EndoMT est associée à une augmentation de l'expression d'un facteur de transcription nommé Hey2. D'un point de vue morphologique, les cellules irradiées ont présenté une morphologie caractéristique de cellules sénescences.

De prochaines expériences tenteront de déterminer si l'EndoMT radio-induite pourrait être une forme de sénescence. Le rôle de Hey2 sera étudié *in vivo* via un suivi de l'évolution des lésions colorectales radio-induites dans un modèle de souris invalidées pour ce gène spécifiquement dans l'endothélium.

.../...

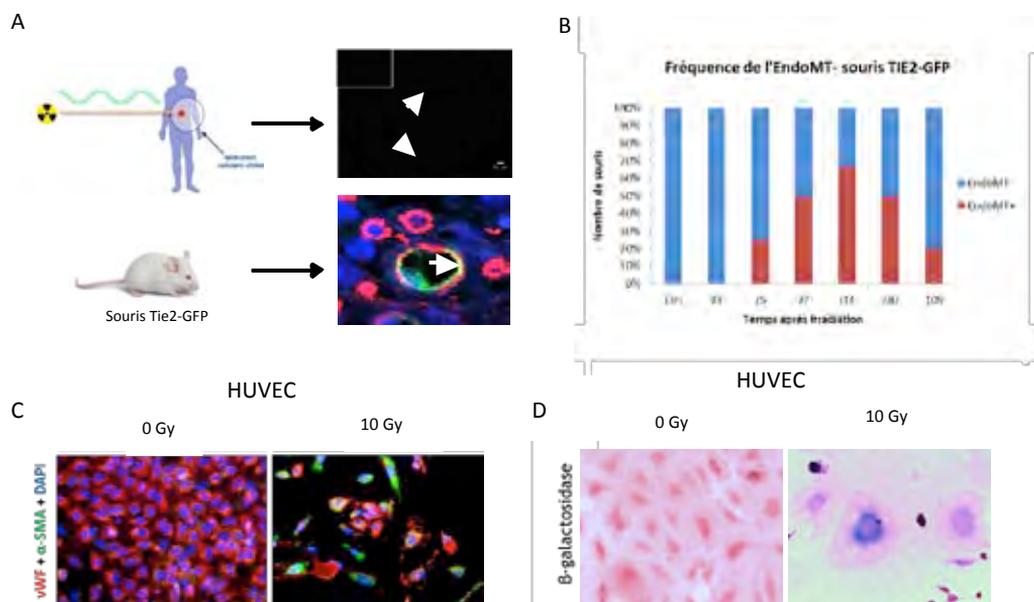


Figure A: Mise en évidence de la transition endothélium-mésenchyme (EndoMT) chez des patients traités par radiothérapie et chez la souris (Tie2-GFP). Co-expression de l' α -SMA et du facteur von Willebrand (flèche) sur des coupes de rectum Humain irradiés. Co-expression de l' α -SMA et de la GFP (flèche) sur des coupes de rectum de souris (Tie2-GFP) irradiés (27Gy).

Figure B: Histogramme représentant la fréquence de l'EndoMT observée in vivo (souris Tie2-GFP) après une irradiation colorectale de 27 Gy.

Figure C: Mise en évidence de l'EndoMT in vitro chez les HUVEC 7 jours après une irradiation de 10 Gy. Co-expression du marqueur endothélial von Willebrand (rouge) et mésenchymateux α -SMA (en vert).

Figure D: Sénescence cellulaire: augmentation de la taille du cytoplasme et marquage β -galactosidase + (bleu) chez les HUVEC irradiées.

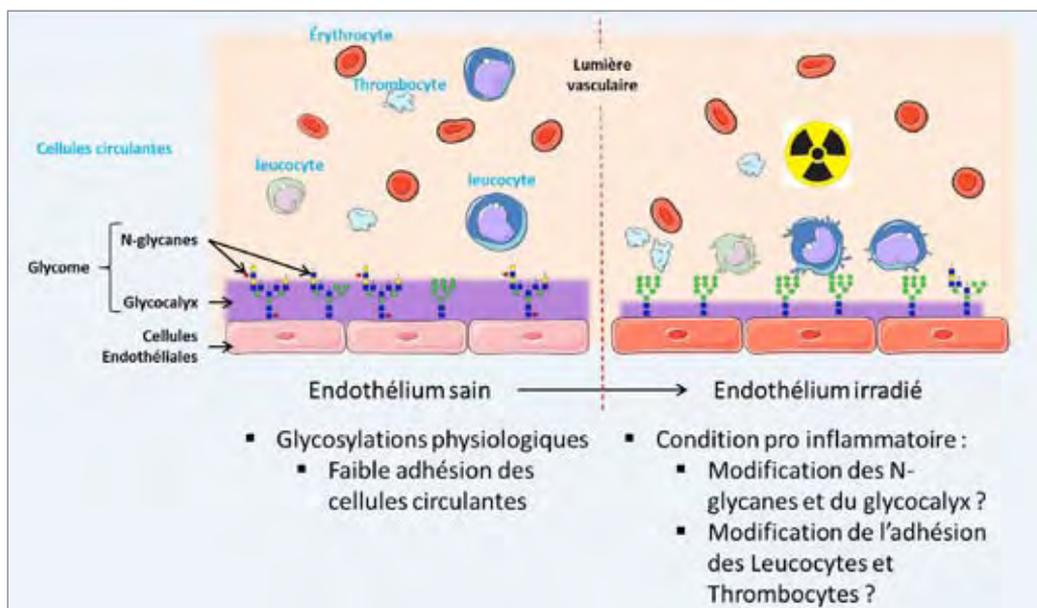
Sujet de la thèse :**Modifications radio-induites du glycome de l'endothélium vasculaire :
implications sur le recrutement des cellules circulantes
et sur la thrombose vasculaire dans le tissu irradié**

Doctorant :	Cyprien JAILLET
Date du début de la thèse :	01/10/2013
Laboratoire :	PRP-HOM/SRGE/L3R
Financement de thèse :	Rosiris : 50 % IRSN + 50 % EDF
Directeur de thèse :	Marc Benderitter - IRSN
Tuteur de thèse :	Olivier Guipaud
École doctorale :	Paris 6/ED394 : Physiologie, physiopathologie et thérapeutique

La radiothérapie est utilisée dans le traitement des cancers. Elle permet le contrôle tumoral, mais elle provoque des effets secondaires sur les tissus environnants. Les rayonnements ionisants causent des modifications du réseau vasculaire, induisant la progression des lésions radio-induites à court et long terme. L'endothélium vasculaire est le tissu clé de la réponse inflammatoire. Activé par les rayonnements ionisants, il participe au recrutement des cellules immunitaires. Ce processus met en jeu des molécules d'adhésion qui sont largement surexprimées après irradiation. D'autre part, en contexte inflammatoire et d'athérosclérose, des modifications de la glycosylation de ces protéines transmembranaires permettent d'adresser spécifiquement des leucocytes au tissu lésé. L'inflammation affecte également le glycocalyx, une structure saccharidique et protéique recouvrant les cellules endothéliales. Son épaisseur diminue dans les maladies inflammatoires chroniques comme l'athérosclérose. L'ensemble de ces glycosylations (glycome) constitue donc une cible thérapeutique privilégiée pour moduler une réponse inflammatoire devenue chronique et pathologique. Dans le cas de l'endothélium irradié, inflammatoire et pathologique, le glycome vasculaire est-il modifié ? Quelles sont alors les conséquences sur le recrutement des cellules circulantes et sur la thrombose vasculaire ?

L'endothélium a été étudié *in vitro* grâce à un modèle de cellules endothéliales primaires irradiées à 20 Gy. Une analyse de transcriptomique ciblée a permis d'établir que l'irradiation modifie l'expression de 23 gènes codant pour des enzymes responsables de la glycosylation. Le marquage des sucres membranaires par des lectines fluorescentes, capables de lier spécifiquement des motifs glycaniques, a permis l'identification des familles de sucres modulés, suggérant que des structures glycaniques hautement mannosylées sont surexprimées après irradiation. L'utilisation de la spectrométrie de masse a également permis des caractérisations structurales et une quantification plus précise de ces sucres. Enfin, le dosage de l'acide uronique suggère une diminution radio-induite de l'épaisseur du glycocalyx.

Ces résultats montrent l'existence de modifications radio-induites du glycome des cellules endothéliales *in vitro*. Pour approfondir, il s'agit maintenant de constater l'existence de conséquences fonctionnelles de ces changements sur les phénomènes d'adhésion plaquettaire et de thrombose *in vitro*. Enfin, il s'agira de savoir si l'irradiation entraîne également des changements de glycosylation de l'endothélium de tissus murins et humains.



Sujet de la thèse :

**Biothérapie du traitement des effets secondaires de la radiothérapie ;
étude préclinique du traitement des effets secondaires des radiothérapies
abdomino-pelvienne par les Cellules Souches Mésoenchymateuses
chez le rat Sprague-Dawley**

Doctorant :	Benoît USUNIER
Date du début de la thèse :	02/09/2013
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LR2I
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Marc Benderitter - IRSN
Tuteur de thèse :	Alain Chapel
École doctorale :	UPMC/ED394 : Physiologie, physiopathologie et thérapeutique

La radiothérapie est utilisée dans 60% des thérapies de cancers solides. Elle peut conduire à des complications tardives aux tissus sains dans le champ d'irradiation, notamment des fibroses. La radiothérapie abdomino-pelvienne est la plus fréquente. Elle induit des fibroses du colon et du rectum. Les traitements actuels sont palliatifs. Un nouveau traitement par thérapie cellulaire a permis de traiter quatre patients développant de graves séquelles suite à un surdosage de radiothérapie abdominale. Il sera suivi par un essai clinique chez 12 patients développant des complications des radiothérapies.

En parallèle de ces essais cliniques, cette thèse a pour objectif de caractériser l'effet des Cellules Souches Mésoenchymateuses (CSM) sur la fibrose colique radio-induite suite à une irradiation abdomino-pelvienne. Une approche *in vitro* et *in vivo* permet d'évaluer les effets secondaires des CSM et de leur potentiel thérapeutique dans le cas des fibroses radiques.

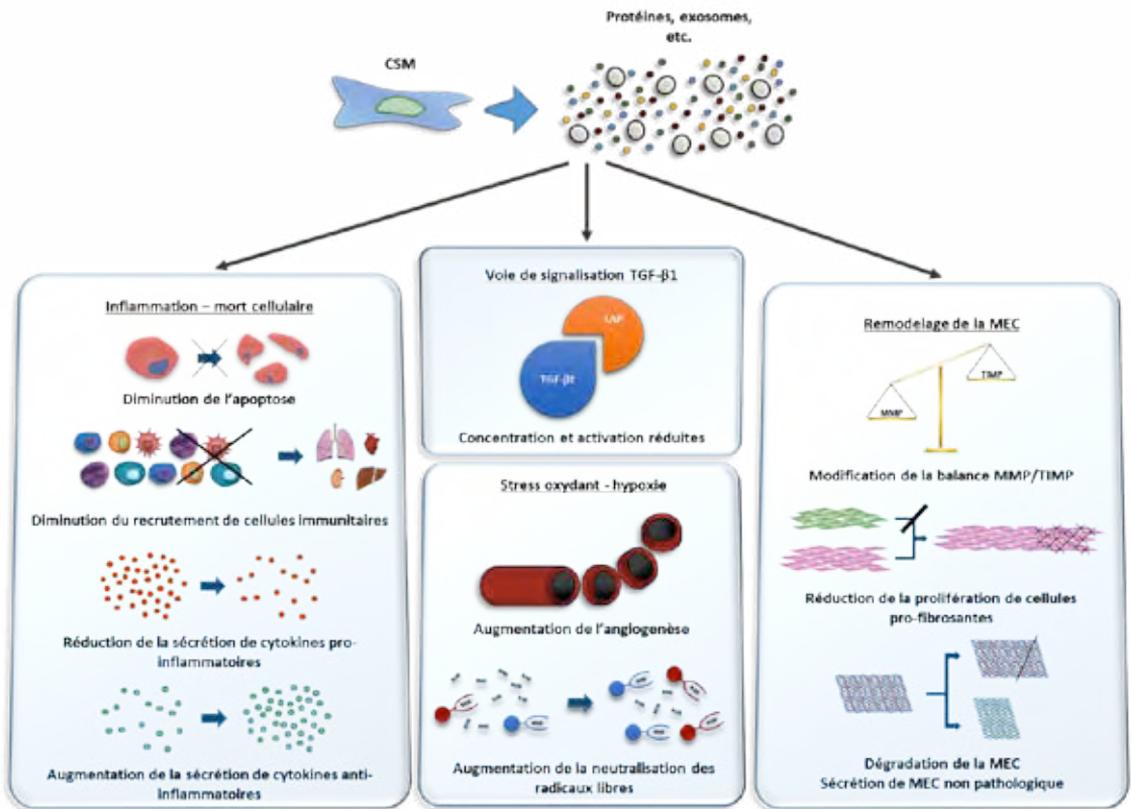
Nous avons montré que, *in vitro*, la présence de CSM en coculture ou de leur milieu conditionné semble réverser l'acquisition d'un phénotype pro-fibrosant chez les principaux types cellulaires impliqués dans la fibrose colique.

In vivo, une fibrose colique similaire à celle observée chez l'homme, a été développée chez le rat Sprague-Dawley, en utilisant une configuration d'irradiation à une dose unique de 29 Gy sur une fenêtre colorectale. Les CSM ont été injectées de manière analogue aux traitements des patients, par voie intraveineuse. L'étude des prélèvements après transplantation suggère l'absence d'effets secondaires des CSM dans ce contexte.

La comparaison des animaux transplantés aux groupes contrôles semble indiquer un potentiel anti-fibrosant des CSM. Sur la base des résultats obtenus, deux acteurs moléculaires ont été identifiés comme étant potentiellement responsables.

La dernière partie de ce projet sera consacrée à la caractérisation des mécanismes anti-fibrosants des CSM.

.../...



Hypothèses sur les effets des Cellules Souches Mésenchymateuses sur la fibrose

Il a été démontré que les CSM agissent via plusieurs voies pour diminuer la fibrose dans différents modèles. Leur potentiel immunomodulateur permet de diminuer l'inflammation. Elles inhibent la voie TGF-β1, au centre de la pathologie. Elles diminuent le stress oxydatif et favorise la formation de nouveaux vaisseaux. Enfin, les CSM participent au remodelage de la matrice extracellulaire. (CSM: Cellules Souches Mésenchymateuses; MEC: Matrice ExtraCellulaire)

➤ Mercredi 1^{er} avril

14 h 30 - 16 h 10

Théâtre du Moulin

SESSION PARALLÈLE

Transfert des radionucléides dans les sols et problématiques de stockage

Président : Bernard BONIN (CEA)

Nolwenn LEPARRE, Imagerie de densité dans les zones de failles de la station expérimentale de Tournemire à l'aide du flux de muons.

Philippines LALAN, Impact de la température sur la géochimie et la diffusion aux interfaces béton/argile dans le stockage des déchets radioactifs.

Sophie GROUSSET, Mécanismes de corrosion sur le long terme en milieux anoxiques - étude physico-chimique des phases soufrées à travers une approche triple : analogues archéologiques, essais *in situ* à la SET et essais en laboratoire.

Mohamed Amine CHERIF, Modélisation dynamique de la (bio) disponibilité des éléments chimiques dans les sols : approche comparative modèles-expériences appliquée au transfert de strontium et de césium dans la ZNS.

Sujet du post-doctorat :**Imagerie de densité dans les zones de failles de la station expérimentale de Tournemire à l'aide du flux de muons**

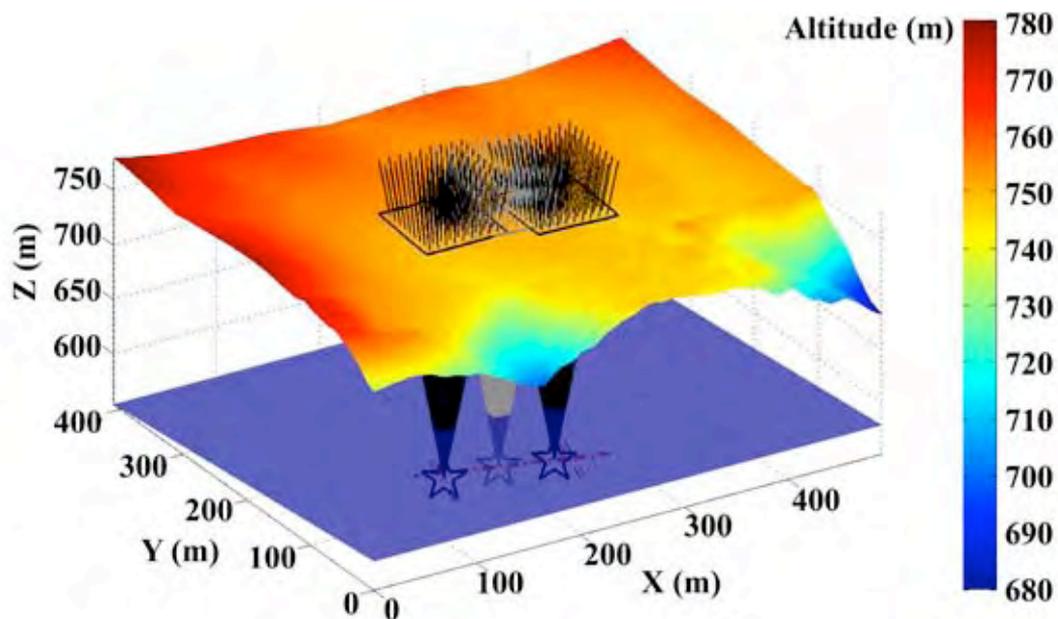
Post-doctorant :	Nolwenn LESPARRE
Date du début de post-doctorat :	07/10/2013
Laboratoire :	PRP-DGE/SRTG/LETIS
Financement du post-doctorat :	Projet de recherche exploratoire : TOMUEX
Encadrant du post-doctorat :	Justo Cabrera IRSN

L'objectif du projet TOMUEX est d'évaluer la capacité d'un dispositif de tomographie par analyse du flux de muons à identifier des anomalies de densité au sein de la Station Expérimentale de Tournemire (SET). De telles anomalies constituent en effet un indice d'une éventuelle présence de structures ou discontinuités qui peuvent agir comme un court-circuit hydraulique dans un contexte de formations hôtes d'un stockage géologique de déchets radioactifs. Le principe de la méthode utilise la capacité des muons, produits au sein de cascades atmosphériques de particules, à traverser quelques kilomètres de roche. Lors de ce trajet, le flux de muons est atténué en fonction de la quantité de matière traversée, il est donc sensible à la répartition de la densité du milieu sondé.

Deux expériences ont été menées afin d'imager des zones de failles observées depuis les galeries de la zone centrale d'une part et au niveau d'une grande faille régionale dans la zone nord d'autre part. Les contrastes de densité attendus sont peu importants au niveau des galeries alors qu'ils sont plus accentués au niveau de la faille régionale. Ces deux expériences permettent ainsi d'explorer les limites de l'application de cette méthode novatrice à des discontinuités plus ou moins prononcées.

Afin de mieux contraindre la géométrie du milieu sondé à l'aide des muons, ces expériences ont été complétées par des mesures visant à imager la résistivité électrique entre les galeries souterraines et la surface. Les zones de failles constituent en effet un milieu fracturé, canalisant les écoulements d'eau depuis la surface vers une aquifère située au-dessus des galeries. Ces régions de circulation de fluides présentent donc un signal conducteur révélant la géométrie des zones de faille. Une application innovante de cette méthode a été réalisée en injectant un courant électrique entre la surface et les galeries de la SET. La comparaison des imageries de densité et de résistivité électrique offre ainsi la possibilité d'étudier le milieu suivant deux approches complémentaires.

.../...



Mesures du flux de muons au niveau des galeries de la SET (en rouge). Sous la topographie, la couche bleue représente l'interface entre la couche d'argile et les calcaires supérieurs. Les étoiles représentent trois positions consécutives du détecteur de muons dont certains des angles de vue sont représentés par les lignes droites.

Sujet de la thèse :

Impact de la température sur la géochimie et la diffusion aux interfaces béton / argile dans le stockage des déchets radioactifs

Doctorant :	Philippines LALAN
Date du début de la thèse :	07/10/2013
Laboratoire :	PRP-DGE/SRTG/LETIS
Financement de thèse :	IRSN, BEL V
Directeur de thèse :	Laurent De Windt – Mines-ParisTech
Tuteur de thèse :	Alexandre Dauzères
École doctorale :	Mines-ParisTech/GRNE

Le stockage des déchets radioactifs en couche géologique profonde est une question clé dans le secteur nucléaire en France. Dans le concept actuel, le milieu géologique, argileux, et les infrastructures de stockages doivent assurer le confinement des radionucléides. Leur mise en contact génère inévitablement des interactions et la présence des déchets, exothermiques, peut induire une température de l'ordre 70°C aux contacts entre la roche et les matériaux anthropiques. Dans ces conditions de température, le comportement des interfaces argile / béton demeure peu connu.

L'objectif de cette étude est de créer expérimentalement des interfaces pâte de ciment CEM I / argilite de manière à caractériser finement les évolutions minéralogiques, microstructurales et leur influence sur les propriétés diffusives des matériaux à 70°C pour construire un modèle satisfaisant du comportement de ces interfaces en température. Deux type d'essais sont effectués, en cellule de diffusion dédiés à la validation des modèles réalisés avec le code de transport réactif HYTEC, et en condition *in situ* (station expérimentale de Tournemire) plus représentatifs du stockage profond. Les résultats expérimentaux obtenus jusqu'à 10 mois de contact en cellule de diffusion et après 1 an de contact en condition *in situ* ainsi que les premières simulations du système seront présentés. Le matériau cimentaire est systématiquement décalcifié et carbonaté, tandis que le matériau argileux semble illitisé. A l'interface entre les deux matériaux, un ruban de tobermorite (silicate de calcium hydraté) se forme à laquelle se mêle une zéolithe ainsi que des silicates et aluminates de calcium hydratés. Après un an, l'extension de la perturbation est de 800 µm dans la pâte de ciment CEM I et de 400 µm dans l'argilite. Les simulations numériques réalisées reproduisent assez fidèlement les processus physico-chimiques observés expérimentalement mais l'extension de la perturbation est surestimée.



Cliché MEB de l'interface CEM I / argilite après 1 an : néoformations de prismes maclés caractéristiques de la phillipsite (zéolithe) et de silicates de calcium hydratés en nid d'abeille.

Cette étude met notamment en évidence un manque de données en température sur les cinétiques de réaction, les variations de porosité et les échanges cationiques dans un tel système. Sur le plan expérimental, les efforts se focalisent sur la description des évolutions de la microstructure et son influence sur les propriétés diffusives des interfaces afin de mieux contraindre les modèles numériques en vue d'augmenter la compréhension de telles interfaces en température.

Sujet de la thèse :

**Mécanismes de corrosion sur le long terme en milieux anoxiques
– étude physico-chimique des phases soufrées à travers une approche triple :
analogues archéologiques, essais *in situ* et en laboratoire**

Doctorant :	Sophie GROUSSET
Date du début de la thèse :	1/12/2013
Laboratoire :	Laboratoire archéomatériaux et prévision de l'altération (CEA) et DGE/SRTG/LETIS
Financement de thèse :	Andra/IRSN
Directeur de thèse :	Delphine Neff / CEA
Tuteur de thèse :	Alexandre Dauzères
École doctorale :	UPMC/École doctorale Physique et Chimie des Matériaux

Cette étude est menée dans le cadre du projet de stockage des déchets radioactifs type HA en milieu géologique profond. Les options retenues prévoient l'utilisation de matériaux métalliques (chemisage et colis) pour une période de fonctionnement de mille ans. Leur résistance à la corrosion est donc un sujet d'étude important.

Or, des bactéries susceptibles de conduire à un phénomène de corrosion localisée sont observées dans l'environnement du stockage. Parmi celles-ci sont détectées des bactéries sulfato-réductrices pouvant conduire à la formation de sulfures de fer par réduction des sulfates. Or, des expériences menées en laboratoire semblent montrer que ce phénomène de réduction s'accompagne d'un fractionnement isotopique du soufre.

L'objectif de ce travail est de développer une méthode d'analyse isotopique du soufre pour la détermination de l'origine, bactérienne ou inorganique, des sulfures de fer observés au sein des couches de produits de corrosion formés à long terme sur des systèmes réels.

La validité de l'hypothèse «*un fractionnement isotopique du soufre vis-à-vis de la source initiale en cet élément apparaît seulement lorsqu'un métabolisme bactérien intervient lors de leur formation*», est testée par l'étude isotopique de coupons de fer corrodés en milieu carbonaté anoxique en présence ou en absence de bactéries. Une première série de mise en corrosion abiotique a été réalisée. Les caractérisations MEB et μ -Raman ont confirmé la formation de FeS_{1-x} et Fe_3S_4 .

D'autre part, des tests menés sur une sélection de souches bactériennes ont conduit au choix de la souche S105 pour la première série de mise en corrosion biotique.

.../...

Par ailleurs, l'étude des sulfures de fer présents dans des échantillons archéologiques permettra de mettre au point une méthodologie d'analyse isotopique de surface adaptée à des échantillons réels corrodés sur le très long terme. Suite à la localisation et la caractérisation des liserés de sulfures de fer, différentes techniques d'analyse isotopique de surface ont été testées: μ -SIMS, ToF-SIMS et nanoSIMS. La faible résolution en masse du μ -SIMS rend son utilisation inadaptée aux échantillons archéologiques. Les techniques ToF-SIMS et nanoSIMS sont toujours en cours d'investigation afin d'optimiser à la fois les conditions d'acquisition mais également les méthodes de traitement des données.

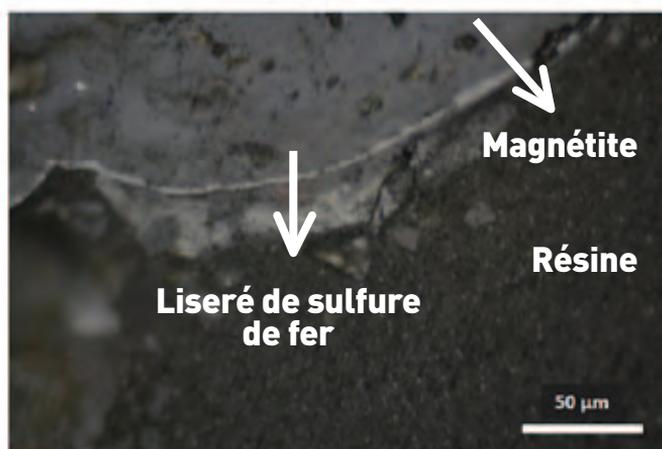
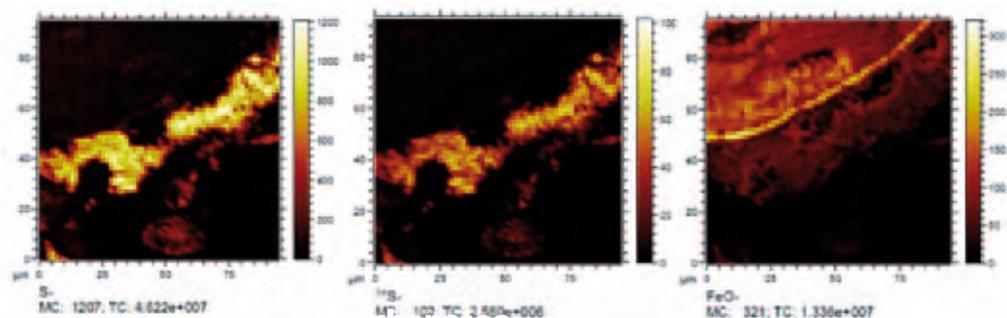


Image isotopique obtenue en ToF-SIMS mode BA-burst sur une section transverse du clou GL12-140-T1C provenant du site archéologique de Glinet (Normandie, France).

Sujet de la thèse :

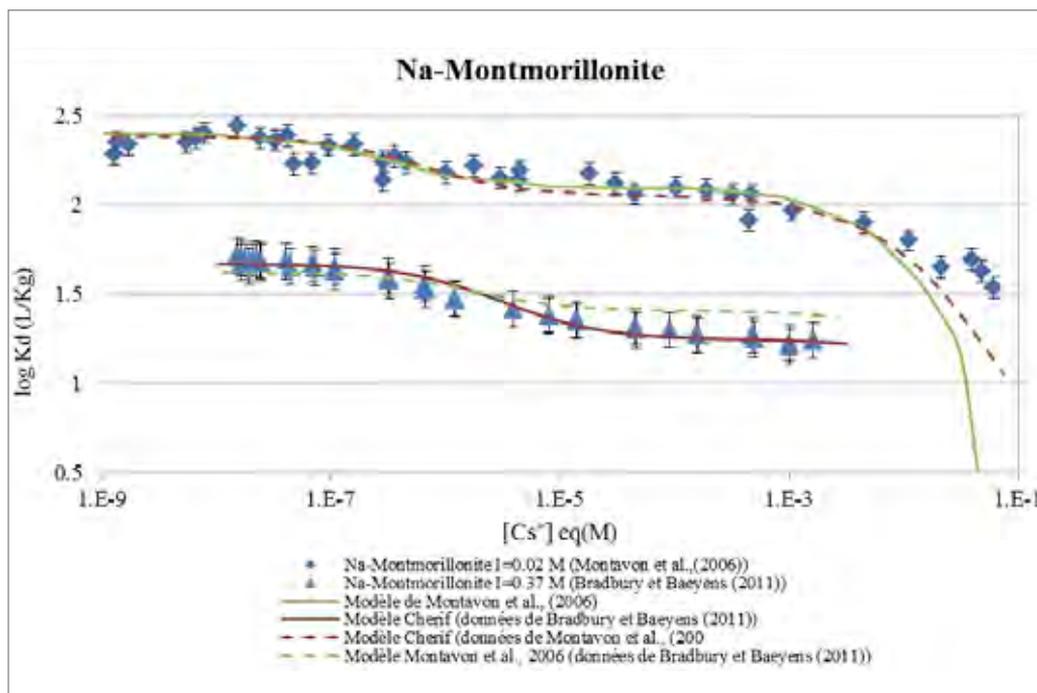
**Modélisation dynamique de la (bio)disponibilité des radionucléides dans les sols :
approche comparative modèles-expériences appliquée au transfert
de Sr(II) et de Cs(I) dans la ZNS**

Doctorant :	Mohamed Amine CHERIF
Date du début de la thèse :	02/12/2013
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/L2BT
Financement de thèse :	IRSN/région PACA
Directeur de thèse :	Frederic Gerard - INRA UMR Eco&Sols Olivier Bildstein – CEA Cadarache
Tuteur de thèse :	Arnaud Martin-Garin
École doctorale :	Aix-Marseille / ED Sciences de l'Environnement (ED 251)

Ce travail vise à améliorer les outils permettant de décrire et de prédire le transfert des radionucléides entre le sol, la solution du sol et le système racinaire des végétaux. En menant une analyse critique des modèles numériques existants, l'objectif est de proposer et/ou développer un modèle générique capable de mieux rendre compte de ces transferts dans le cas du Cs et Sr.

La première partie de ce travail a été consacrée à l'analyse et la mise en œuvre des modèles disponibles dans la littérature pour décrire l'adsorption du césium par les minéraux argileux, que l'on considère comme le processus qui contrôle majoritairement la disponibilité environnementale de cet élément dans les sols. Cette analyse a débouché sur la formulation d'un nouveau modèle mécaniste combinant deux modèles d'adsorption: (i) un modèle 1-pK Triple Plane Model (TPM) pour rendre compte de l'adsorption des ions au niveau des sites hydroxyles situés à la bordure des feuillets (FES: Frayed Edge Sites), et (ii) un modèle d'échange ionique pour l'adsorption des cations au niveau des sites de charges permanentes (les surfaces basales). Cette approche a été testée afin de modéliser l'adsorption du Cs sur trois minéraux argileux classiques: l'illite, la montmorillonite et la bentonite FEBEX, dans des conditions physico-chimiques différentes. Ce travail a permis de démontrer que le modèle mécanistique proposé constitue un avantage majeur par rapport aux différents modèles existants, dans la mesure où il permet de rendre compte des niveaux d'interactions variables du Cs avec ces minéraux argileux, sans ajustement préalable des paramètres et ce pour différents environnements physico-chimiques.

.../...



La seconde année est consacrée, (i) à l'utilisation de la même approche mécaniste afin de modéliser l'adsorption du Sr sur ces trois minéraux argileux en s'appuyant sur la similitude de cet élément avec le Ca, (ii) à l'ajout dans le modèle de différentes composantes d'interaction présentes dans la majorité des sols et capables de rendre compte de processus moins spécifiques pour le Cs et le Sr; (iii) à la réalisation d'une série d'expérimentations, conduite en milieux contrôlés et sur des systèmes simples de laboratoire permettant de confronter les simulations numériques à des données expérimentales.

➤ Mercredi 1^{er} avril

14 h 30 - 16 h 30

Salon d'honneur

SESSION PARALLÈLE

Accidents graves et incendie

Président : Florent LOUIS (Université Lille I)

Alexandre DECRETON, Détermination expérimentale et modélisation thermodynamique du système Ag-Zr-In.

Kevin VARRALL, Étude de l'écoulement de convection mixte d'un gaz à densité variable à travers une ouverture horizontale reliant deux compartiments superposés et mécaniquement ventilés - Application à la propagation verticale des fumées d'incendie dans des configurations multi-locaux.

Ahmed KACEM, Modélisation numérique de la pyrolyse en atmosphère normalement oxygénée et sous-oxygénée.

Ahmed MABROUK, Développement d'outils d'aide au diagnostic en contexte incertain : application aux diagnostics de situations accidentelles.

Julien TRINCAL, Modélisation du comportement de l'iode dans l'atmosphère.

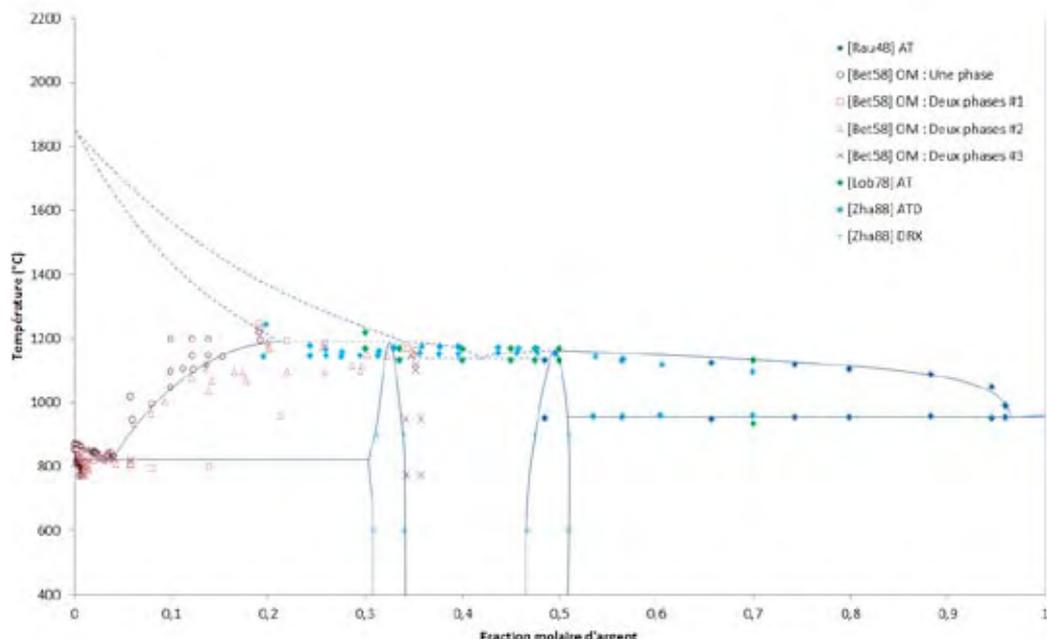
Sujet de la thèse :**Détermination expérimentale et modélisation thermodynamique du système Ag-In-Zr**

Doctorant :	Alexandre DECRETON
Date du début de la thèse :	15/10/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/LETR
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Jacques Rogez – CNRS - Marseille
Tuteur de thèse :	Marc Barrachin
École doctorale :	AMU/ED352

Cette thèse s'inscrit dans une démarche d'amélioration des bases de données thermodynamiques de l'IRSN pour la simulation des accidents graves dans les réacteurs à eau sous pression, et plus particulièrement sur l'impact de la dégradation des crayons absorbants (Ag-In-Cd-Zircaloy-4) sur la liquéfaction du cœur combustible et sur les rejets de radioéléments à l'environnement. Ce travail vise plus spécifiquement à déterminer la stabilité relative des différentes phases pouvant se former lors de la dégradation (stabilité représentée de manière générale par le diagramme de phases ou par la description de l'enthalpie libre des différentes phases). Une revue critique des données existantes a permis de définir les mesures complémentaires à réaliser pour atteindre une description prédictive des diagrammes de phases les plus importants, c'est-à-dire Ag-Cd-In, Ag-Zr et In-Zr. Ce travail vise donc à obtenir ces données, à proposer une nouvelle modélisation de ces diagrammes pour en tirer des enseignements sur les mécanismes de dégradation et leurs conséquences.

Le diagramme de phase argent-zirconium a été étudié expérimentalement afin de clarifier les controverses concernant la nature des équilibres de phase dans la gamme de composition riche en zirconium. Les échantillons binaires ont été élaborés à partir des éléments purs en utilisant un four à arc. Les températures de transformation de phases ont été mesurées par analyse thermique différentielle (ATD) en utilisant des creusets en oxyde d'yttrium sous stœchiométrie. La microscopie électronique à balayage couplée à la microanalyse par rayons X (EDX) a été utilisée pour étudier la microstructure des échantillons bruts de coulée et post-ATD. Nous confirmons l'existence de deux composés intermétalliques, AgZr et AgZr₂, déjà identifiés lors des travaux précédents. AgZr₂ se forme à partir d'une réaction péritectique à 1182°C entre la phase liquide et la solution solide de zirconium à haute température β-Zr. Deux microstructures eutectiques [AgZr₂+AgZr] et [Ag+AgZr] ont été observées dans plusieurs échantillons bruts de coulée et les températures des réactions eutectiques ont été mesurées respectivement à 1160°C et 954°C. En outre, la décomposition eutectoïde de la solution solide de zirconium à haute température, β-Zr → α-Zr + AgZr₂, se produit à 821°C. Les enthalpies standard de formation des composés définis AgZr et AgZr₂ ont été déterminées par calorimétrie de dissolution et ont été comparées aux valeurs obtenues par calculs de structure électronique.

.../...



Tracé du diagramme de phase Ag-Zr sur la base des données existantes et de nos données

Sujet de la thèse :**Étude de l'écoulement de fumées à travers une trémie
reliant deux compartiments ventilés mécaniquement**

Doctorant :	Kevin VARRALL
Date du début de la thèse :	01/10/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SA2I/LEF
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Olivier VAUQUELIN –Aix Marseille Université
Tuteur de thèse :	Hugues PRETREL (PSN-RES/SA2I/LEF) et Samuel VAUX (PSN-RES/SA2I/LIE)
École doctorale :	Science pour l'ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique

Dans un contexte de sûreté des installations nucléaires, prédire la propagation de fumées d'incendie pouvant transporter des matières dangereuses est un enjeu important. L'utilisation de codes de calcul dans les études de sûreté se démocratise et de nombreuses décisions sont issues de ces simulations. Or, la propagation des fumées d'incendie à travers un orifice horizontal constitue un écoulement particulier pour lequel la modélisation physique actuelle présente des faiblesses et des verrous scientifiques subsistent. Dans ce cadre, la thèse propose une étude théorique, expérimentale et numérique d'écoulement de convection mixte pour un mélange gazeux à densité variable traversant une ouverture de section horizontale reliant deux locaux superposés.

Les travaux présentés concernent une étude expérimentale d'écoulements d'air à température variable passant à travers une trémie de différentes tailles. Les expériences sont réalisées à échelle réduite sur le dispositif STYX en utilisant des mesures optiques de vélocimétrie par image de particule (PIV) en Stéréo (cf. Figure 1). La SPIV (Stéréo PIV) fournit une information spatio-temporelle tridimensionnelle du champ de vitesse au sein des deux fluides échangés simultanément à travers l'orifice horizontal. Les principales informations obtenues sont les champs de vitesse instantanée et moyenne et la distribution spatiale des fluides ascendant et descendant à travers cet orifice (cf. Figure 2). De ces mesures, les débits instantanés des écoulements ascendant et descendant ainsi que leur section de passage respective sont calculés. L'influence de la géométrie de la trémie (diamètre, épaisseur) ainsi que de la ventilation mécanique (convection forcée) sur l'écoulement à densité variable (convection naturelle) est étudiée. Les mesures de SPIV permettent de caractériser l'évolution des champs de vitesse depuis un écoulement bidirectionnel en convection naturelle vers un écoulement monodirectionnel de convection forcée. Ces mesures aérodynamiques tridimensionnelles sont originales dans l'étude de ce type d'écoulement et permettront de valider le code CFD ISIS sur cette classe d'écoulement. Cette approche numérique menée avec ISIS permettra d'accéder à des informations complémentaires comme les champs de pression locale et ainsi de proposer des améliorations significatives des modèles corrélatifs utilisés dans le code à zones SYLVIA.

.../...



Figure 1: Dispositif expérimental

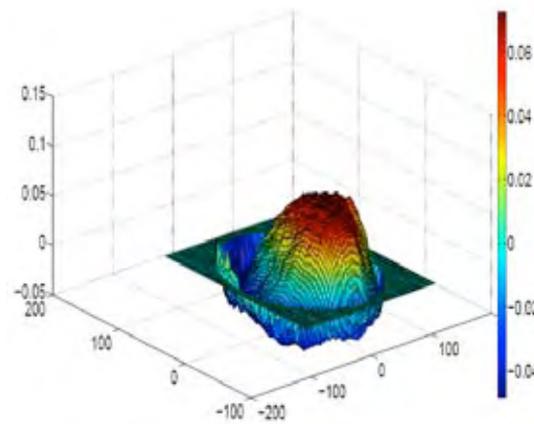


Figure 2: Composante verticale du champ des vitesses moyennes (m/s)

Sujet de la thèse :**Modélisation numérique de la pyrolyse en atmosphère normalement oxygénée et sous-oxygénée**

Doctorant :	Ahmed KACEM
Date du début de la thèse :	05/11/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SA2I/LIE
Financement de thèse :	Région PACA
Directeur de thèse :	Bernard PORTERIE (AMU)
Tuteur de thèse :	Sylvain SUARD
École doctorale :	AMU - Sciences pour l'Ingénieur : Mécanique, Physique, Micro- et Nanoélectronique - ED353

Prédire le comportement d'un incendie en milieu confiné et ventilé, caractéristique des installations nucléaires, nécessite de modéliser finement la source combustible (terme source), en termes de débit de pyrolyse et de puissance libérée.

Ce terme source dépend à la fois des propriétés intrinsèques du combustible et des échanges thermiques (radiatifs et convectifs) entre la flamme et le foyer.

Le combustible solide considéré dans ce travail de recherche est le PMMA (polyméthacrylate de méthyle, cf *plexiglas*), utilisé dans le domaine nucléaire (ex. boîtes à gants) et dans de nombreuses études académiques. Un des objectifs est donc de correctement simuler la dégradation de la phase condensée qui peut être transparente ou non au rayonnement.

Dans cette perspective, on étudie la pyrolyse de plaques épaisses de PMMA dans le cas d'une pyrolyse sans flamme (flux de chaleur incident inférieur au flux critique d'allumage) et dans le cas d'une pyrolyse avec flamme. Un modèle 1D de pyrolyse en volume prenant en compte le rayonnement spectral au sein du solide est proposé. Les paramètres cinétiques du modèle sont déterminés à l'aide d'un algorithme génétique. Les résultats du modèle sont présentés en termes d'évolution temporelle du taux de pyrolyse surfacique, de régression de surface et de niveau de température au sein du solide. La comparaison de ces résultats avec ceux obtenus à partir d'un modèle de pyrolyse en surface montre qu'un meilleur accord avec les données expérimentales est obtenu quand la dégradation thermique a lieu au sein du solide. Plusieurs hypothèses sont également étudiées en utilisant le modèle de pyrolyse en volume : rayonnement gris au sein du solide, matériau opaque et matériau semi-transparent. Les différents résultats montrent que la prise en compte du rayonnement au sein du solide améliore sensiblement la prédiction du terme source. De plus, de meilleurs résultats sont obtenus avec une modélisation spectrale du rayonnement, par rapport à une modélisation dite grise. Finalement, il est montré que le modèle retenu, permet de retrouver l'évolution temporelle de l'épaisseur de la zone bullée dans le cas d'une pyrolyse sans flamme.

.../...

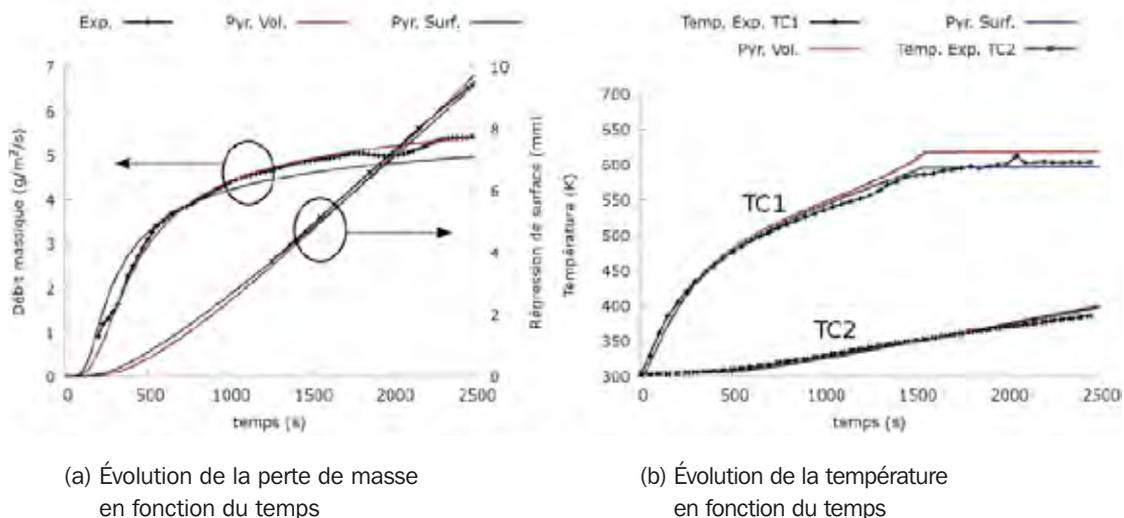


Figure 1: Comparaison des résultats donnés par l'algorithme génétique pour la pyrolyse volumique et surfacique, flux incident = $18kW/m^2$

Sujet de la thèse :**Développement d'outil d'aide au diagnostic en contexte incertain**

Doctorant :	Ahmed MABROUK
Date du début de la thèse :	15/11/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/LETR
Financement de thèse :	IRSN et BelV
Directeur de thèse :	Christophe Gonzales, Université Pierre et Marie Curie - Paris
Tuteur de thèse :	Karine Jabet-Chevalier et Eric Chojnacki
École doctorale :	UPMC Paris 6

Le diagnostic des scénarios d'accidents nucléaires graves représente un enjeu majeur pour la sûreté nucléaire et la gestion de crise. Au cours de l'accident de Fukushima, des calculs de scénarios accidentels permettant d'expliquer les observations disponibles ont été menés avec ASTEC, le code de simulation d'accident grave de l'IRSN. Le peu d'informations disponibles, dont certaines se sont ensuite par ailleurs avérées peu fiables, a conduit à imaginer plusieurs scénarios explicatifs sans qu'il soit possible de leur attribuer un degré de crédibilité absolue ou relative.

Ainsi, ce travail de recherche vise à proposer un outil dédié à la modélisation et au diagnostic des scénarios d'accident à base de réseaux bayésiens. L'usage des réseaux bayésiens reposera sur l'apprentissage de bases de données de calculs créés avec le logiciel de calcul d'accident grave ASTEC. Les réseaux bayésiens sont issus de la théorie des graphes et de la théorie des probabilités, et permettent de représenter de manière synthétique et hiérarchisée une base de connaissances.

Le travail de la première année a été consacré à l'étude des scénarios d'accidents graves envisagés sur un réacteur à eau pressurisé (REP) sur la base d'une série de simulation de ces derniers au moyen d'ASTEC. A la lumière de cette première étape, il est apparu que les données accidentelles issues des simulations numériques sont d'un côté de nature continue et d'autre côté reliées à la fois par des relations déterministes et probabilistes. Ces deux contraintes posent un sérieux problème pour les algorithmes de construction des réseaux bayésiens qui supposent à la fois que toutes les relations entre variables sont de nature probabiliste et les variables sont de nature factorielle (discrète).

Concernant le premier point, notre effort s'est donc tout d'abord focalisé sur une étude bibliographique des différentes approches d'apprentissage des réseaux bayésiens qui prennent en considération les données de nature déterministes suivi de la proposition d'un nouvel algorithme d'apprentissage de structure.

Concernant l'étape de discrétisation, après une étude bibliographique des différentes approches de discrétisation, nous avons proposé une approche qui nous a permis de pallier les inconvénients de ces dernières tout en minimisant la perte de l'information lors de la transformation des données. Au sein de cette approche, nous supposons que la variable à discrétiser suit un mélange des lois normales tronquées. Etant donnée cette hypothèse, notre algorithme a pour but l'estimation des paramètres optimaux de la distribution de la variable en question tout en prenant en compte ses éventuelles corrélations avec les autres variables (au sein du réseau bayésien). Les premiers résultats de notre approche de discrétisation montrent des gains d'efficacité par rapport aux méthodes existantes.

Sujet de la thèse :**Modélisation du comportement de l'iode dans l'atmosphère**

Doctorant :	Julien TRINCAL
Date du début de la thèse :	10/10/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/LETR
Financement de thèse :	IRSN/Bel-V
Directeur de thèse :	Laurent Cantrel - IRSN Valérie Fèvre-Nollet - PC2A
Tuteur de thèse :	Frédéric Cousin - Patrick Lebègue
École doctorale :	Université Lille 1/ED SMRE

Suite à l'accident de Fukushima, des écarts significatifs entre les mesures sur le terrain et les résultats de modélisation ont été observés, en particulier sur les dépôts d'iode 131. Ces écarts pourraient être en partie expliqués par le fait que les outils de dispersion utilisés ne considèrent aucune transformation chimique des radionucléides lors de leur transport dans l'atmosphère, or la réactivité de l'iode dans ces conditions est avérée.

Afin d'évaluer l'impact de cette réactivité sur l'évolution de la spéciation du terme source originel, un mécanisme réactionnel constitué de 246 réactions impliquant l'iode en phase gazeuse a été établi, à travers une revue critique de la littérature (Fig. 1).

Ce mécanisme a ensuite été intégré dans un outil de simulation 0D, les résultats de modélisation en conditions atmosphériques représentatives ont alors montré un fort impact de différents paramètres sur la spéciation de l'iode, tels que les niveaux de pollution (O_3 , NO_x , Composés Organiques Volatils), les taux de photolyse, ainsi que la quantité d'iode relâché et sa cinétique associée. De manière générale, l'iode gazeux relâché se convertit en formes iodocarbonées suite aux réactions avec les COV. Dans un cas idéal sans espèces organiques atmosphériques, les formes oxydées I_xO_y et INO_x deviennent rapidement prédominantes (réactions de l'iode avec l' O_3 et les NO_x).

Afin d'étudier la réactivité de l'iode en conditions de transport, le mécanisme réactionnel a ensuite été intégré dans le code de chimie-transport Polair3D ^[1]. Les simulations confirment les tendances observées lors des études 0D, à savoir la formation prédominante des iodocarbonés.

Par la suite, une application sur l'accident de Fukushima est prévue avec et sans prise en compte de la réactivité afin d'appréhender l'impact potentiel sur les conséquences radiologiques.

A ce stade, il reste encore certaines incertitudes concernant le mécanisme réactionnel de l'iode, telles que 25 produits de réaction non identifiés, 11 espèces sans réaction de destruction, et seulement 13 réactions de photolyse pour 81 espèces iodées. A la suite de ces travaux de thèse, l'effort portera sur l'amélioration du mécanisme réactionnel en travaillant sur deux volets : des calculs de chimie théorique (réactivité en phase gazeuse) et le développement d'un module aérosol (interactions gaz-particules, adsorption/désorption).

[1]: Boutahar, J., Lacour, S. & Mallet, V., Development and validation of a fully modular platform for numerical modelling of air pollution: POLAIR. Int J Env Pollut, 22, pp. 17-28, 2004.

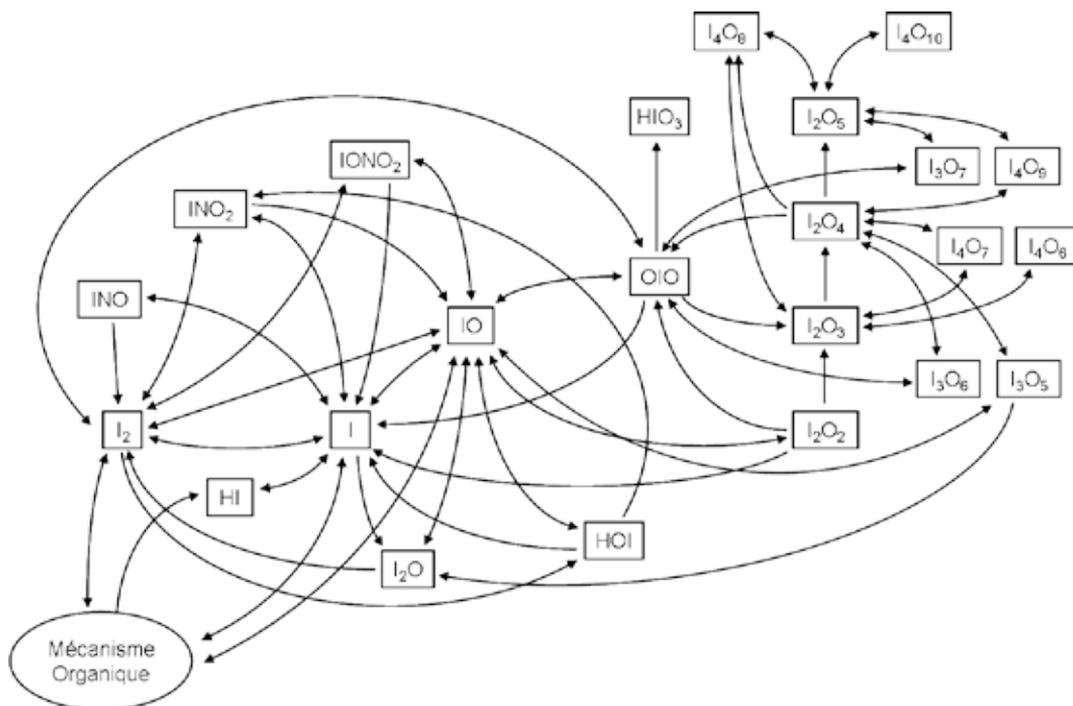


Figure 1: Schéma du mécanisme réactionnel de l'iode, partie inorganique

➤ Mercredi 1^{er} avril

16 h 50 - 19 h 50

Théâtre du Moulin

Séminaire de la recherche exploratoire

Présenté par Christian TAMPONNET

Alexandra SEMONT, Développement d'un modèle de niche hématopoïétique en 3D: un outil technologique pour l'acquisition de nouvelles connaissances scientifiques sur l'aplasie radioinduite.

Hugues PRETREL & Amine KOCHED, Projet PIVFEU - Application de la PIV à grande échelle sur des écoulements lors d'un incendie en milieu confiné et ventilé.

Denis MARO & François GENSDARMES, Développement d'un système de mesure à haute fréquence de la concentration d'un aérosol avec une sélection en taille et une limite de détection compatible avec les concentrations environnementales.

Marc BARRACHIN & François VIROT, BESTAIR: BEryllium Source Term due to an Accident in the ITER experimental Reactor.

Fabien MILLIAT, Développement et maîtrise d'un modèle *in vivo* d'étude de l'implication du compartiment vasculaire dans la physiopathologie des lésions radio-induites.

Fabienne RIBEIRO, Caractérisation des précipités d'hydrures par synchrotron.

LE DISPOSITIF DE RECHERCHE EXPLORATOIRE À L'IRSN

La recherche exploratoire est destinée à favoriser l'innovation et la créativité des chercheurs au sein de l'Institut pour le bénéfice des programmes futurs.

Le dispositif de recherche exploratoire mis en place par le Directeur Scientifique offre la possibilité aux chercheurs de l'institut de démontrer la faisabilité d'une idée originale portant sur des sujets non encore abordés dans les programmes en cours. Il permet sa mise en œuvre en dehors du champ habituel de la recherche programmée. Cette recherche « dite » exploratoire dispose alors des ressources (150 K€ max pouvant comprendre le salaire d'un post-doctorant pour une durée maximale de 18 mois) et d'un temps (un maximum de 2 ans) suffisant pour être portée à maturité et devenir féconde tout en étant protégée des conséquences habituelles d'un éventuel échec.

Régulièrement au cours des Journées thèses, une sélection des projets achevés font l'objet d'une présentation ouverte à tous les acteurs de la recherche. A cette occasion, le prix IRSN de la Créativité est décerné sur la base d'une évaluation des projets par un panel d'experts de la filière. Il sera remis lors du dîner festif des Journées thèses.

► Développement d'un modèle de niche hématopoïétique en 3D :
un outil technologique pour l'acquisition de nouvelles connaissances scientifiques
sur l'aplasie radioinduite

Alexandra SEMONT, PRP-HOM/SRBE/LR2I

Ce projet de Recherche Exploratoire a permis :

1) d'acquérir de nouvelles compétences au sein de l'IRSN dans la réalisation de modèles 3D à savoir, 1 modèle *in vitro* de niche hématopoïétique en 3D et 1 modèle *in vivo* de niche hématopoïétique en 3D.

Le premier modèle a montré qu'il est possible de faire cohabiter sur un support d'hydroxyapatite de calcium différents éléments composant la niche hématopoïétique que sont les CSM, les ostéoblastes, les adipocytes, les cellules endothéliales (HUVEC) et les cellules hématopoïétiques. La présence d'une population SP au sein de ce modèle confirme la fonctionnalité *in vitro* de cette niche hématopoïétique 3D pendant 5 jours après la mise en culture des cellules.

Un deuxième modèle de niche hématopoïétique 3D a consisté à ensemercer un biomatériau avec des CSM humaines et d'implanter *in vivo* ce biomatériau cellularisé en sous-cutané au niveau du dos de souris immunodéficientes. Ce modèle a permis le développement *in vivo* d'une hématopoïèse fonctionnelle au sein des biomatériaux implantés.

2) de développer un outil innovant permettant d'approfondir les connaissances scientifiques sur les mécanismes impliqués dans les altérations fonctionnelles radio-induites de l'hématopoïèse. Cette première étude nous a déjà permis d'évaluer l'impact de différentes doses d'irradiation (2, 10, 20 Gy) sur la formation de la niche hématopoïétique. Nous avons montré qu'il existe un effet dose/réponse. En effet, nous avons montré qu'une dose d'irradiation de 20 Gy diminue la prolifération des cellules présentes dans le biomatériau, la formation d'os mature et entraîne un défaut d'hématopoïèse (réduction de la mobilisation des progéniteurs hématopoïétiques au sein des biomatériaux et absence de sites hématopoïétiques). En revanche, une irradiation à 2 Gy semble avoir un impact limité sur l'induction de l'hématopoïèse. A ce stade, ce nouvel outil pourrait permettre d'approfondir les connaissances sur les mécanismes impliqués, et notamment sur la participation des différents constituants de la niche hématopoïétiques, dans l'altération radioinduite de l'hématopoïèse.

.../...

► **Projet PIVFEU - Application de la PIV à grande échelle sur des écoulements lors d'un incendie en milieu confiné et ventilé**

Hugues PRETREL et Amine KOCHED, PSN-RES/SA2I/LEF

Le projet PIVFEU est une étude expérimentale qui vise à explorer les potentialités des diagnostics laser pour les écoulements de fumée d'incendie. L'écoulement retenu est l'écoulement bidirectionnel de fumée sortante et d'air frais entrant à un passage de porte. Les techniques de mesure de vitesse par images de particules (PIV) sont utilisées pour caractériser de façon détaillée les champs de vitesse.

Des expériences à échelle réduite sur le dispositif NYX et à grande échelle sur le dispositif HYDRA ont été réalisées. Les mesures de vitesse sont comparées à celles obtenues par une instrumentation conventionnelle (sondes bidirectionnelles) usuellement utilisée lors d'expériences à grande échelle.

Les mesures PIV sont utilisées pour étudier la phénoménologie des régimes de convection naturelle et de convection mixte en présence d'une ventilation mécanique.

► **Développement d'un système de mesure à haute fréquence de la concentration d'un aérosol avec une sélection en taille et une limite de détection compatible avec les concentrations environnementales**

Denis MARO, PRP-ENV/SERIS/LRC OCT et François GENSDARMMES, PSN-RES/SCA/LPMA

Ce rapport fait la synthèse de l'étude de faisabilité d'un système de mesure de distribution en taille de l'aérosol atmosphérique (10-1000 nm, 103-105 particules par cm³) avec un temps de réponse de 100 ms. Après l'étude bibliographique, nous avons choisi de tester un système basé sur la mesure de courant d'aérosols chargés par diffusion d'ions unipolaires en post décharge électrique. En effet, à l'heure actuelle, seules les mesures électriques permettent d'obtenir un temps de réponse de 100 ms sur toute la gamme de taille. Les décharges électriques permettent de produire simplement de forte densité d'ions permettant de charger les aérosols rapidement (en moins de 50 ms). Le système proposé contient donc six étapes :

- une décharge électrique pour produire les ions,
- un extracteur d'ions pour sortir les ions de la décharge et éviter (i) la contamination de la décharge par l'aérosol et (ii) la collection électrostatique des particules chargées par le champ électrique requis pour produire la décharge,
- une zone de charge où les ions et l'aérosol sont mélangés.
- un piège à ions pour collecter les ions restant une fois l'aérosol chargé,
- un système de séparation en mobilité électrique
- et enfin des mesures des courants d'aérosol chargés par gamme de mobilité électrique.

.../...

L'étude bibliographique a permis d'apporter les éléments nécessaires au choix de géométrie de décharge, de la polarité, de la répartition de la pression au sein des différentes zones du système pour ainsi pré-dimensionner le système. La stratégie d'étude visait à développer un système complet basé sur une seule décharge, sans optimiser chacune des étapes afin de définir les potentialités du système proposé. Des séries d'expériences en laboratoire ont permis (i) d'affiner le dimensionnement (ii) de prouver la faisabilité du système proposé et (iii) de définir les débits d'ions et d'aérosol ainsi que le nombre de chargeurs requis selon le nombre de plateaux de taille désirés.

La présentation des principes potentiels de séparation d'aérosols par gamme de taille a permis de choisir un double système de séparation en taille. Le premier système concernant les aérosols les plus mobiles (< 200 nm) est basé sur la collection électrostatique. Ce système a été retenu sa flexibilité (possibilité d'adapter simplement le nombre de gammes de taille) et sa facilité de mise en œuvre. Cependant le temps de collection de 50 ms n'étant pas suffisant pour collecter les aérosols plus gros (> 200 nm), un électromètre à cage de Faraday permet de mesurer les aérosols chargés qui sortent du premier système.

Enfin le développement des bancs de production d'aérosols monodispersés et de mesure des niveaux de charge des aérosols ainsi que du temps de réponse a permis de valider la réponse du système. Les mesures de niveaux de charge des aérosols sont cohérentes avec la théorie et le temps de réponse électrique est bien inférieur à 100 ms.

Une série d'expériences a été conduite dans l'environnement au-dessus d'un couvert végétal pour confirmer les niveaux de charge obtenus dans le laboratoire. En effet, les estimations des conditions de charge en post-décharge (produit Ni.dt intégré) et les niveaux de charges sont cohérents. Par ailleurs, la comparaison avec un système commercial basé sur un principe similaire a permis de valider la réponse du prototype. Le courant d'aérosol est 3.5 fois plus faible sur le prototype majoritairement en raison de la différence de débits de prélèvement. Cela montre que l'efficacité de charge de l'aérosol atmosphérique est similaire dans ce prototype préliminaire et le système commercial.

.../...

► BESTAIR: BEryllium Source Term due to an Accident in the ITER experimental Reactor**Marc BARRACHIN et François VIROT, PSN-RES/SAG/LETR**

L'analyse de sûreté de l'installation de fusion expérimentale ITER implique le développement de connaissances pour évaluer la quantité et la forme chimique des espèces (bérylliées et tritiées) qui pourraient être rejetées à l'environnement (terme source) en cas de perte de confinement de la chambre à vide. Une étape essentielle pour l'évaluation du terme source est de disposer de données thermodynamiques fiables pour les espèces gazeuses, qui devraient être les principales contributrices à ce terme source. Ainsi l'objectif du projet BESTAIR était de pouvoir disposer d'une base de données thermodynamiques pour le système Be-O-H-T gazeux sur la base d'une analyse critique de la bibliographie et sur la mise en œuvre de calculs de chimie théoriques permettant de compléter les manques. Dans un premier temps, l'analyse de l'ensemble des données thermodynamiques expérimentales a permis de définir des valeurs dites de référence notamment pour BeO et Be(OH)₂. Dans un second temps, différentes approches de chimie théorique ont été testées sur leur capacité à prédire ces valeurs de référence. Ces approches qui s'appuient sur la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT) ont permis non seulement de calculer les données thermodynamiques manquantes mais également de réviser certaines valeurs qui existaient jusqu'à présent dans des ouvrages de référence. Enfin, sur la base de ce jeu de données thermodynamiques nouvellement constitué, une analyse de la localisation et de la spéciation chimique a pu être réalisée pour un scénario de perte de confinement de la chambre à vide induit par une entrée d'eau.

.../...

► **Développement et maîtrise d'un modèle *in vivo* d'étude de l'implication du compartiment vasculaire dans la physiopathologie des lésions radio-induites**

Fabien MILLIAT, PRP-HOM/SRBE/L2R

Les stratégies thérapeutiques par radiothérapie sont associées à l'apparition d'effets secondaires précoces et/ou tardifs sur les tissus sains. Malgré les progrès technologiques effectués dans le domaine de la radiothérapie, la toxicité aux tissus sains reste, aujourd'hui, un problème incontournable lié à ce type de traitement. Dans ce contexte, la compréhension des mécanismes moléculaires et cellulaires associés aux dommages radio-induits est indispensable dans l'objectif de mettre en place des stratégies thérapeutiques et de radioprotection des tissus.

L'objectif de ce projet exploratoire était de mettre en place, de maîtriser et d'utiliser de nouveaux modèles d'animaux transgéniques obtenus par la technologie Cre/lox pour étudier le rôle du compartiment vasculaire dans l'initiation et la progression des dommages radio-induits aux tissus sains. Son principal verrou était méthodologique car il nécessitait des grosses compétences en biologie moléculaire.

Ce projet a réussi avec la mise en place opérationnelle de l'élevage des premiers animaux transgéniques mi-2011 à l'IRSN. A ce jour, 3 sujets de thèses du laboratoire (achevés ou en cours) ainsi qu'un post-doctorat ont été construits sur cette méthodologie. Plusieurs présentations orales ou affichées, deux prix dans des congrès internationaux et trois publications (soumises ou sont en cours de préparation) sont les marques de valorisation directes de ce projet de recherche exploratoire. Aujourd'hui, ces projets sont intégrés dans l'axe 3 du programme ROSIRIS de l'IRSN, lui-même au sein de l'axe programme D3P7 de l'institut.

► **Caractérisation des précipités d'hydrures par synchrotron dans les alliages de zirconium**

Fabienne RIBEIRO, PSN-RES/SEMIA/LPTM

This paper presents observations of in situ heating and cooling cycles using synchrotron X-ray diffraction carried out on Zircaloy-4 plates charged to different levels of hydrogen content. The diffraction peak intensities were used to derive the weight fraction of hydrogen in solid solution and the solvi curves upon dissolution and precipitation. The heating and cooling rate did not seem to have a major influence on the solvi. Fast-cooling/dwell experiments showed that the precipitation kinetics are very fast. Finally the evolutions of the lattice strains from individual grain families were studied during dissolution and precipitation.

The aim was to understand the role of interphase misfit stresses on the mechanisms of hydride formation and hysteresis between dissolution and precipitation. The results emphasise that changes in dissolved H concentration are responsible for a non-negligible part of the lattice distortion in the matrix, and that the diffraction strains must therefore be analysed with care.



➤ Jeudi 2 avril

08h45-11h15

Théâtre du Moulin

SESSION PLÉNIÈRE

Métrologie des rayonnements et détermination de la dose

Président : Philippe CASSETTE (LNHB, CEA)

Anthony BONFRATE, Doses secondaires aux tissus sains en protonthérapie : évaluation de la dose à proximité du champ de traitement et étude de l'influence des paramètres d'irradiation.

Sylvain MEYLAN, Développement d'un outil de simulation multi-échelle adapté au calcul des dommages radioinduits précoces dans des cellules exposées à des irradiations d'ions légers (proton, alpha et carbone).

Azza HABIBI, Analyse de radioéléments en situation post-accidentelle. Détermination d'émetteurs alpha par couplage chromatographie liquide / ICP-MS.

Hugues PARADIS, Développement d'un système de détection d'émetteurs gamma en coïncidence.

Donovan MAIRE, Développement d'une chambre à projection temporelle utilisant une anode pixélisée pour les références en énergie et en fluence des champs neutroniques de basses énergies.

Benoît SABOT, Étalonnage des instruments de mesure de l'activité volumique du thoron dans l'air.

Sujet de la thèse :

**Doses secondaires aux tissus sains en protonthérapie,
évaluation de la dose à proximité du champ de traitement
et étude de l'influence des paramètres d'irradiation**

Doctorant :	Anthony BONFRATE
Date du début de la thèse :	07/10/2013
Laboratoire :	PRP-HOM/SDE/LDRI
Financement de thèse :	Cofinancement IRSN – Institut Curie - Centre de Protonthérapie d'Orsay
Directeur de thèse :	Joël Héroult – Centre Antoine Lacassagne (Nice)
Tuteur de thèse :	Jad Farah
École doctorale :	Université Paris-Sud - MIPEGE

Grâce au fort dépôt d'énergie à la fin du parcours des protons, appelé « pic de Bragg », la protonthérapie permet de délivrer une dose importante à la tumeur tout en épargnant les tissus sains (TS) environnant. Cependant, des neutrons générés par l'interaction des protons avec les éléments présents dans la ligne de traitement et le patient lui-même sont capables de déposer une dose non désirée aux TS en dehors du champ de traitement. Les simulations Monte Carlo permettent l'estimation de ces doses mais sont longues et incompatibles pour une utilisation en routine clinique.

Cette thèse a donc pour objectif de fournir un moyen rapide et fiable d'estimer les doses neutrons reçues par un patient traité à l'Institut Curie – Centre de Protonthérapie d'Orsay pour une tumeur intracrânienne. En utilisant le modèle MCNPX de la salle et de la ligne de traitement, le travail évalue l'influence sur les doses secondaires neutrons de différents paramètres d'irradiation tels que la largeur de modulation, l'ouverture et l'épaisseur du collimateur, l'épaisseur du compensateur ainsi que la taille de l'air gap. Ces calculs sont réalisés en utilisant des fantômes voxelisés représentant des patients de 1 an, 10 ans et adulte et pour deux incidences de traitement : antéro-supérieure et latérale droite. Les résultats ont montré de plus fortes doses neutrons pour l'incidence latérale du faisceau plaçant le patient à proximité de la ligne de traitement. Les doses varient considérablement avec l'ouverture du collimateur (fig. 1) et la largeur de modulation tandis que l'impact de l'air gap reste faible. La variation des doses neutrons avec l'ouverture du collimateur est cependant différente selon l'incidence du faisceau et la distance tumeur - TS. Par ailleurs, l'équation paramétrique préliminaire développée permet une estimation rapide des doses neutrons avec des écarts maximums d'environ 15%. Cette équation relie les doses neutrons aux TS au nombre de protons reçus par le patient en reproduisant l'influence de chaque paramètre d'irradiation considéré sur les doses neutrons et également de la distance volume tumoral - TS. Des validations supplémentaires sont prévues en utilisant des données de la littérature afin de vérifier l'universalité de cette équation.

.../...

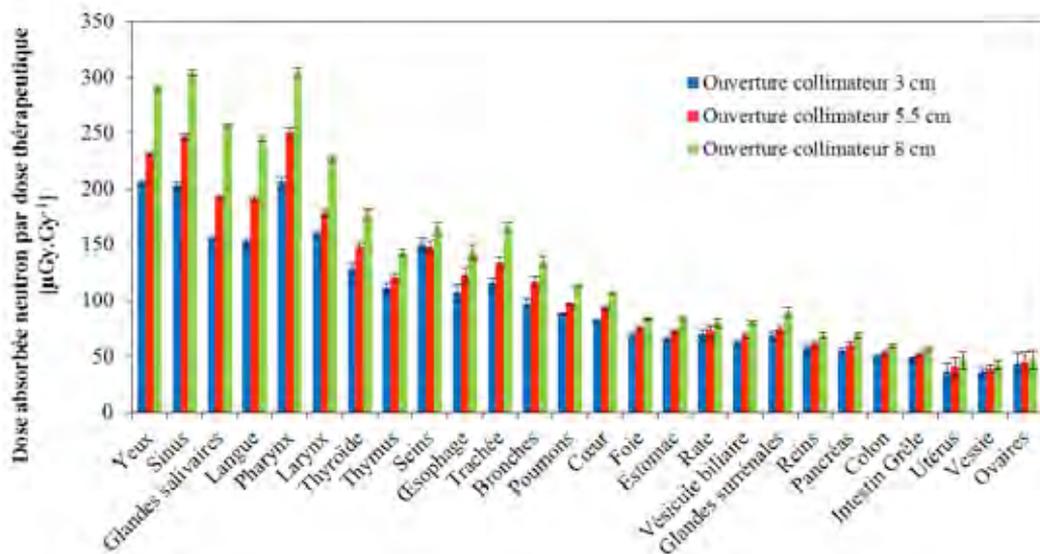


Figure 1. Variation de la dose absorbée neutron par dose thérapeutique [$\mu\text{Gy.Gy}^{-1}$] en fonction de l'ouverture du collimateur pour une incidence antéro-supérieure et le fantôme voxelisé de 1 an. Les incertitudes statistiques sont également représentées.

Sujet de la thèse :

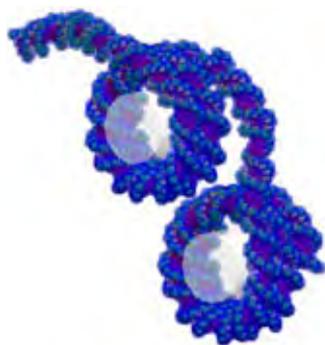
Développement d'un outil de simulation multi-échelle adapté au calcul des dommages radioinduits précoces dans des cellules exposées à des irradiations d'ions légers (proton, alpha et carbone)

Doctorant :	Sylvain MEYLAN
Date du début de la thèse :	01/10/13
Laboratoire :	PRP-HOM/SDE/LDRI
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Sébastien Incerti, IN2P3
Tuteur de thèse :	Carmen Villagrasa
École doctorale :	Université de Bordeaux, ED SPI

Il est aujourd'hui admis que des dommages radioinduits complexes à l'ADN sont une cause de mort cellulaire, cependant l'établissement d'une corrélation quantitative entre ces dommages et leurs conséquences biologiques est un champ de recherche toujours actif. Dans ce but, des codes de Monte Carlo sont généralement utilisés pour simuler l'interaction initiale du rayonnement ionisant avec l'ADN. Ces codes, appelés codes de simulation de structure de traces, simulent l'étape physique d'une irradiation de cellule et, parmi eux, certains peuvent également simuler les étapes physico-chimiques et chimiques qui suivent l'irradiation. Dans leur grande majorité, ces codes considèrent l'ensemble du noyau cellulaire comme un milieu homogène constitué d'eau liquide.

L'objectif de ce travail de thèse est de contribuer au développement d'un de ces codes de simulation (Geant4-DNA) prenant en compte les sections efficaces de l'ADN récemment mesurées ainsi qu'une géométrie de l'ADN détaillée jusqu'au niveau moléculaire pour retrouver les données biologiques expérimentales obtenues par le groupe du LDB de l'IRSN. Ainsi, le modèle d'ADN développé est une fibre de 90 nucléosomes constitués chacun d'une protéine histone entourée de 200 paires de bases.

Les premiers résultats obtenus, suite à l'introduction de ces matériaux à la place de l'eau liquide dans la simulation, indiquent une augmentation significative du nombre d'ionisations ayant lieu dans la région dite «backbone» (désoxyribose et phosphate) de l'ADN. Une telle augmentation implique une probabilité plus élevée de cassure pour l'ADN et donc une sous-estimation des dommages lors de l'utilisation d'un milieu aqueux homogène.



2 nucléosomes extraits de la fibre (90 nucléosomes).
Chaque nucléosome est constitué d'une protéine histone entourée de 200 paires de bases ADN (double hélice).

Les premières simulations prenant en compte à la fois le nouveau modèle de fibre de l'ADN et l'ensemble des étapes de l'irradiation ont été réalisées et il s'agit à présent d'étendre le modèle géométrique pour représenter l'ensemble du noyau cellulaire, soit 6 Gpb avec différents niveaux de compaction. L'ensemble des paramètres influant sur la simulation de l'étape chimique devront également être étudiés.

Sujet de la thèse :**Analyse de radioéléments en situation post-accidentelle.
Détermination d'émetteurs alpha par couplage chromatographie liquide/ICP-MS**

Doctorant :	Azza HABIBI
Date du début de la thèse :	03/12/2012
Laboratoire :	PRP-ENV/STEME/LMRE
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Gérard Cote – ENSCP Dominic Larivière – université Laval, Canada
Tuteur de thèse :	Béatrice Boulet
École doctorale :	Université Pierre et Marie Curie/École doctorale de chimie physique et chimie analytique de Paris centre

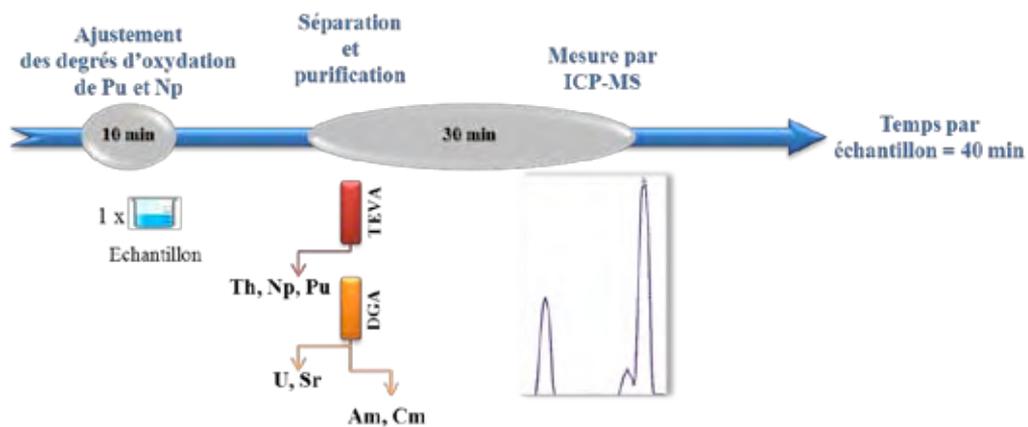
La présente thèse s'inscrit dans le contexte post-Fukushima qui a conduit à la mise en place de nouveaux programmes de R&D au sein de l'IRSN avec comme objectif l'amélioration des techniques d'analyses qui seraient utilisées en situation post-accidentelle pour mesurer des échantillons de l'environnement. En effet, les protocoles actuellement utilisés pour la surveillance de l'environnement sont très performants pour atteindre des limites de détection très basses, mais leur mise en œuvre est complexe avec des temps d'analyse pouvant nécessiter plusieurs semaines pour certains radio-isotopes.

La première étape de l'étude a permis de dresser la liste des émetteurs alpha et bêta susceptibles d'être rejetés dans l'environnement suite à un accident nucléaire et non mesurables aisément par spectrométrie gamma. Dans une seconde étape, des protocoles d'analyse rapides ont été développés pour les 20 radio-isotopes de U, Th, Pu, Am, Cm, Np et Sr retenus. L'objectif est d'automatiser l'étape de séparation radiochimique et de la coupler avec la mesure. La séparation est réalisée en employant des colonnes chromatographiques et la mesure est faite essentiellement par ICP-MS (*spectrométrie de masse à plasma induit*) mais aussi par compteur proportionnel pour le radiostrontium.

Les matrices synthétiques ont permis de définir un protocole de séparation mettant en œuvre jusqu'à trois colonnes et d'avoir une meilleure connaissance des propriétés physico-chimiques des éléments. D'excellentes performances ont ensuite été obtenues, hors-ligne, pour des échantillons d'eaux (du robinet, de rivière et de mer). Ces performances se caractérisent par des rendements compris entre 70 % et 100 % et des écarts types entre 5 % et 10 % (après de nombreux répliques indépendants). Enfin, les rendements atteints avec les matrices solides sont prometteurs, après une minéralisation par fusion et une coprécipitation.

Le protocole de séparation a ensuite été transposé en mode couplage pour les matrices liquides. Les performances de la chromatographie automatisée couplée avec l'ICP-MS ont été optimisées avec un plan d'expérience, défini et exploité avec le logiciel Minitab, comprenant 22 essais à 4 variables. Cela permet de réaliser la séparation et la mesure de U, Th, Pu, Am, Cm, Np et Sr en moins de 30 min.

.../...



Protocole développé de la séparation automatisée et couplée à la mesure

Sujet de la thèse :**Développement d'un système de mesure par spectrométrie gamma en coïncidence**

Doctorant :	Hugues PARADIS
Date du début de la thèse :	01/10/2013
Laboratoire :	PRP-ENV/STEME/LMRE
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Fabrice Piquemal – CENBG
Tuteur de thèse :	Anne de Vismes Ott
École doctorale :	PHENIICS/Paris Sud XI

Dans le cadre de la surveillance radiologique de l'environnement, le Laboratoire de Mesure de la Radioactivité dans l'Environnement (LMRE) réalise des mesures de concentration en activité dans différentes matrices environnementales. Il s'agit de matrices biologiques (mousses aquatiques, algues, poissons, ...), de sols, d'eaux ou encore de filtres d'aérosols. La diminution constante des concentrations en activité de radionucléides artificiels dans l'environnement implique une amélioration continue des techniques de mesure.

La spectrométrie gamma en coïncidence est une méthode de mesure basée sur l'émission en coïncidence qui a lieu lorsqu'un radionucléide se désintègre en émettant au moins deux photons en cascade dans un intervalle de temps très court. La détection se fait à l'aide de deux détecteurs, chaque photon étant détecté par un des deux détecteurs. Cette technique permet de tracer des spectres et des matrices de coïncidence dans lesquels sont identifiés les émetteurs. La matrice de coïncidence (Figure 1) permet d'identifier les émetteurs en coïncidence grâce à des empreintes caractéristiques obtenues lorsque les deux photons en coïncidence déposent la totalité de leur énergie dans chacun des deux détecteurs.

Le travail de thèse s'articule autour de deux grands axes, le premier, le développement d'une méthode de mesure en coïncidence sur un système existant, un système anti-Compton, avec le développement d'un algorithme permettant de construire des spectres et une matrice de coïncidence afin d'identifier les radionucléides. Le second, la conception par simulation et la mise en place d'un nouveau système de mesure en coïncidence basé sur l'utilisation de deux détecteurs germanium et d'un scintillateur NaI(Tl). Ces deux systèmes nécessitent un étalonnage particulier à la mesure en coïncidence, réalisé avec des sources étalon mais également grâce à la simulation Monte Carlo avec le code MCNP_CP qui est une extension de MCNPX simulant la physique des schémas de désintégration radioactive.

Les premiers résultats montrent le fonctionnement de la méthode en coïncidence sur le système anti-Compton avec un parfait accord dans l'estimation des activités et une amélioration des limites de détection d'un facteur 10. La simulation Monte Carlo a permis de modéliser le nouveau système et d'optimiser sa future utilisation avec l'ajout d'un scintillateur NaI(Tl). Le système a été assemblé et installé dans la salle blindée du sous-sol du LMRE et les premiers tests permettent de mettre en avant les bruits de fond très faibles obtenus avec ce nouveau système.

.../...

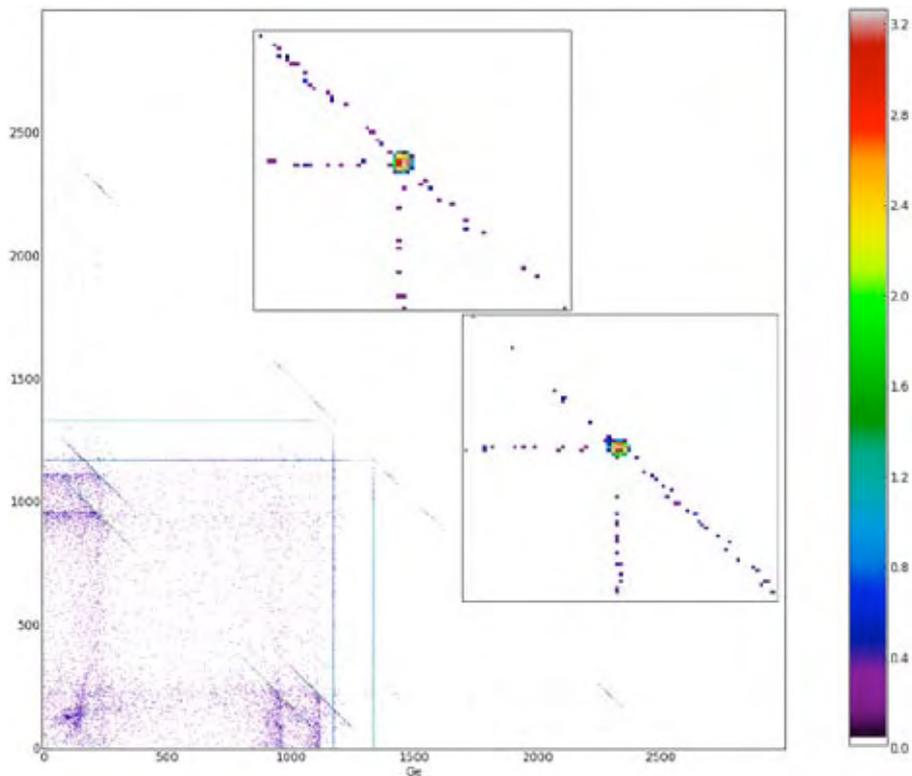


Figure 1: Matrice de coïncidence d'une source (^{137}Cs , ^{60}Co)

Sujet de la thèse :

Développement d'une chambre à projection temporelle utilisant une anode pixélisée pour les références en énergie et en fluence de champs neutroniques de basses énergies (quelques keV à 5 MeV)

Doctorant :	Donovan MAIRE
Date du début de la thèse :	29/10/2012
Laboratoire :	PRP-HOM/SDE/LMDN
Financement de thèse :	IRSN/LNE
Directeur de thèse :	Daniel Santos – CNRS-IN2P3/LPSC
Tuteur de thèse :	Lena Lebreton
École doctorale :	Grenoble - École doctorale de physique ED 47

Dans le domaine des rayonnements ionisants, les installations produisant des champs neutroniques sont essentielles pour étalonner et étudier des détecteurs de neutrons. Cependant ces champs neutroniques doivent être caractérisés en énergie et en fluence pour être considérés comme des champs de référence. Pour mesurer directement la distribution en énergie de champs neutroniques dont l'énergie est inférieure à 5 MeV, le détecteur gazeux μ TPC (i.e. *micromegas Time Projection Chamber*) est en cours de développement au Laboratoire de Métrologie et de Dosimétrie des Neutrons (LMDN).

Ce projet se déroule en collaboration avec l'équipe MIMAC du Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie (LPSC/UJF/CNRS-IN2P3/INP) qui a développé ce détecteur, initialement pour la détection directionnelle de matière noire. En effet l'interaction de ces particules avec la matière induit des reculs nucléaires, comme pour les neutrons. Ainsi le même principe de détection peut être utilisé pour détecter des neutrons. L'IRSN est également associé au Laboratoire National de métrologie et d'Essais (LNE), et détient les références pour les grandeurs neutroniques telles que la distribution en énergie de la fluence neutronique.

L'objectif de ce projet est de développer et d'optimiser un détecteur capable de mesurer la distribution en énergie de la fluence neutronique entre 8 keV et 5 MeV. Pour cela il faut :

- Maitriser le dispositif (mélanges gazeux, électronique, hautes tensions, ...),
- Développer et caractériser un algorithme d'analyse et un modèle simulant la réponse du système,
- Réaliser des mesures sur des installations produisant des champs neutroniques,
- Maitriser les incertitudes associées à chaque paramètre,
- Obtenir un fonctionnement en routine à la fin du projet.
- Depuis le début du projet, plusieurs objectifs ont déjà été remplis :
- L'ensemble de dispositif a été réalisé et il est disponible sur l'installation AMANDE du LMDN,
- Un algorithme d'analyse des données et une modélisation du dispositif ont été développés,

.../...

- Plusieurs campagnes de mesure ont été réalisées sur l'installation AMANDE et CEZANE du LMDN,
- Les analyses ont déjà montré les possibilités de reconstruction de l'énergie et de la fluence neutron à 27 keV, 127 keV, 144 keV, 250 keV et 565 keV,
- La source d'ions COMIMAC a été développée au LPSC et mise en fonctionnement au LMDN. Elle permettra d'améliorer la mesure de l'énergie des noyaux de recul,
- Une nouvelle enceinte a été réalisée afin de limiter la diffusion des neutrons par l'enceinte,
- L'électronique du détecteur a été améliorée (temps de réponse plus court) et caractérisée,
- Un calcul d'incertitude est disponible suite au travail avec Philippe Querre, Eric Chojnaki (IRSN/PSN-RES/SEMIA/LIMAR) et Nicolas Fischer (LNE).

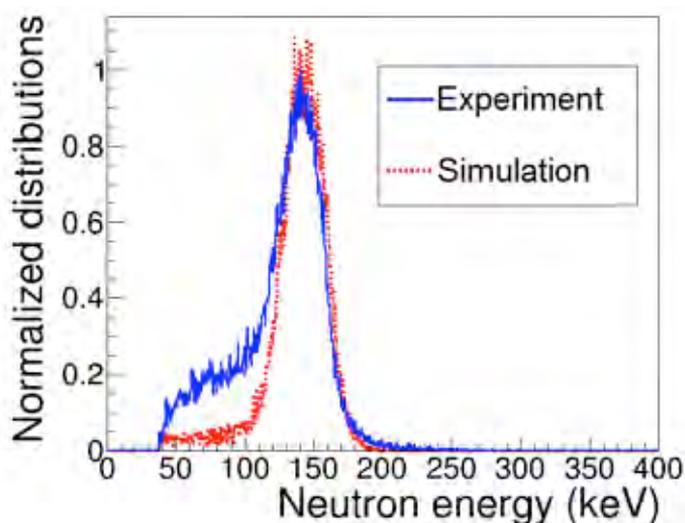


Figure 1. Distribution de l'énergie neutron à 144 keV. La courbe bleue représente la mesure avec le détecteur μ TPC. Les pointillés rouges représentent la modélisation complète du détecteur à un champ neutronique réaliste à 144 keV. La différence à basse énergie provient de l'estimation de la diffusion des neutrons.

Sujet de la thèse :**Étalonnage des instruments de mesure de l'activité volumique du thoron dans l'air**

Doctorant :	Benoît SABOT
Date du début de la thèse :	24/10/2015
Laboratoire :	PSN-RES/SCA/LPMA
Financement de thèse :	IRSN/CEA
Directeur de thèse :	Philippe CASSETTE, CEA
Tuteur de thèse :	Nathalie MICHIELSEN
École doctorale :	MIPEGE PARIS XI

Le radon est la principale source d'exposition naturelle aux rayonnements ionisants. Elle fait l'objet de contrôles dans les zones à risque, que ce soit pour les populations ou les travailleurs. Ces contrôles sont réalisés à l'aide de dispositifs de mesures qui nécessitent un étalonnage. Dans le cas du radon (^{222}Rn), il existe déjà un système produisant des étalons.

Bien que le ^{222}Rn soit l'isotope dominant du radon, il est nécessaire d'assurer aussi la traçabilité du thoron (^{220}Rn). En effet, des mesures dans différents pays ⁽¹⁾⁽²⁾ ont montré que les concentrations en thoron ne sont pas négligeables, voire même plus élevées que celle du radon. De plus, une étude réalisée à l'IRSN à l'aide de différents appareils commerciaux a aussi montré que le thoron peut avoir une influence sur la mesure de radon.

Dans le cas du ^{222}Rn l'étalon primaire est basé sur la mesure d'une source gelée de ^{222}Rn , à l'aide de la méthode par angle solide défini. Cette source est par la suite transférée dans un volume de référence à pression atmosphérique pour permettre l'étalonnage des instruments de mesure. Il n'est pas possible d'utiliser la même méthode pour le thoron, du fait de sa courte période (55,6 s). Un nouveau dispositif a donc été développé.

Ce dispositif consiste en un volume de mesure équipé d'un détecteur alpha, dont le rendement de détection est évalué par méthode Monte Carlo. La première étape de l'étude a consisté à optimiser la géométrie du dispositif de mesure. Alors que le gaz est réparti de façon homogène dans le volume, les descendants solides ont une répartition différente. Ces descendants sont eux aussi émetteurs alpha et les spectres alpha obtenus dans le volume de mesure montrent un chevauchement de plusieurs pics. Pour éviter ce problème, il a été décidé d'utiliser un champ électrique pour capturer les descendants du thoron à la surface du détecteur. En effet, lors de leur formation, les descendants du thoron sont électriquement chargés.

Dans ce volume, le gaz est distribué de façon homogène alors que les descendants sont capturés à la surface du détecteur alpha. Cette amélioration permet d'obtenir un spectre utilisable : à pression atmosphérique le gaz produit un large pic alpha, alors que

.../...

les descendants, déposés à la surface du détecteur, produisent des pics bien résolus. Il est ainsi possible de mesurer le thoron et ses descendants dans le volume de mesure et d'en déduire l'activité volumique en thoron. Cette méthode est aussi applicable au ^{222}Rn et à ses descendants, ce qui permet d'utiliser l'étalon de référence du ^{222}Rn pour valider le fonctionnement de ce dispositif.

Ce dispositif de mesure est portable et peut donc être connecté à n'importe quelle chambre de référence pour qualifier une activité volumique en thoron dans l'air.

This study is conducted in the frame of the project IND57 MetroNORM (Metrology for processing materials with high natural radioactivity) of the European Metrology Research Programme.

1. Kim, Y.J., Lee, H.Y., Kim, C.S., Chang, B.U., Rho, B.H., Kim, C.K., Tokonami, S. Indoor radon, thoron and thoron daughter concentrations in Korea, *International Congress Series* 1276, 46-49 (2005).
2. Baci, A. Radon and thoron progeny concentration variability in relation to meteorological conditions at Bucharest (Romania). *Journal of Environmental Radioactivity* 83, 171-189 (2005).

➤ Jeudi 2 avril

11 h40 - 12 h45

Théâtre du Moulin

SESSION PLÉNIÈRE

Sismologie

Président : Véronique ROUYER

Camille DE LA TAILLE, Évaluation de l'activité sismique quaternaire des failles du Jura méridional.

Elif ORAL, Modélisation de la propagation des ondes sismiques en 3D dans des milieux linéaire et non-linéaire.

Vincent PERRON, Évaluation empirique des effets de site : développement d'une méthodologie adaptée aux zones de faibles sismicité.

Sujet de la thèse :**Évaluation de l'activité sismique quaternaire des failles du Jura méridional**

Doctorant :	Camille DE LA TAILLE
Date du début de la thèse :	01/10/2012
Laboratoire :	ISTerre & PRP-DGE/SCAN/BERSSIN
Financement de thèse :	IRSN/Assemblée des Pays de Savoie
Directeur de thèse :	François Jouanne, ISTerre
Tuteur de thèse :	Hervé Jomard, Christian Cruzet
École doctorale :	Université de Grenoble/TUE

A l'intérieur de l'ensemble jurassien, des accidents décrochants affectent une série sédimentaire déformée de 2 à 3 km d'épaisseur. Ces failles sont associées à une sismicité historique et instrumentale. Trois d'entre elles font l'objet de ce travail (du Nord au Sud): les Failles du Vuache, de Culoz et du Col du Chat. Avant de rejoindre les lacs alpins du Bourget et d'Annecy, ces failles recoupent des plaines alluviales : secteur de Sillingy/Epagny/Meythet pour la Faille du Vuache (séismes de 1996 et du 06/04/2013), Marais de Lavours et de Chautagne pour la Faille de Culoz (séismes de 1822 et du 02/03/2014) (figure). L'estimation de l'activité de ces failles, dans le contexte tectonique de failles actives lentes est rendu nécessaire par la présence sur le territoire concerné d'installations nucléaires (centrale du Bugey).

Deux campagnes d'imagerie sismique dans les lacs ont été spécifiquement consacrées à la mise en évidence de la géométrie superficielle des failles et des déformations qui y sont associées ont été réalisées en Octobre 2013 dans le lac du Bourget et en Septembre 2014 dans le lac d'Annecy. En plusieurs endroits, les déformations atteignent les réflecteurs sismiques les plus récents, attestant d'une activité de ces failles au cours des derniers siècles (De la Taille et al, soumis).

La discussion de ces résultats est complétée par ceux issus d'observations structurales, géomorphologiques et géophysiques. En particulier, des profils de tomographie de résistivité électrique (ERT) réalisés à terre ont permis de mettre en évidence des contrastes de résistivité interprétés comme la signature des failles étudiées dans les sédiments quaternaires.

Nos résultats ont permis de mieux contraindre la géométrie et la segmentation des failles étudiées et de proposer un premier scénario de l'activité quaternaire des segments de failles sur la base de l'âge des sédiments déformés. Les résultats nous permettent de donner pour la première fois une estimation des magnitudes possibles des séismes potentiels associés au jeu de ces failles. Une magnitude de moment de $M = 6,0$ à $M = 6.8$ est possible sur la faille de Culoz, basée sur des relations empiriques d'échelle à travers le monde (Wells et Coppersmith 1994).

.../...

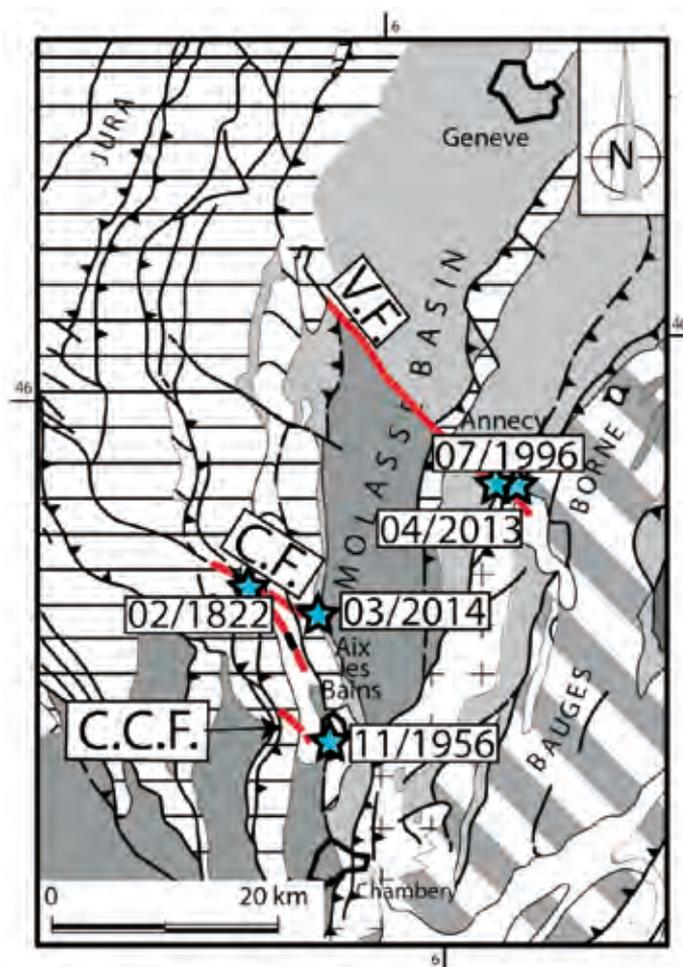


Figure: Carte géologique schématique du bassin savoyard présentant la localisation des séismes instrumentaux d'Epagny (1996, M=5.3), d'Anancy (2013, M=3.5) et de Chindrieux (04/2014, M=2.7) ainsi que celle présumée des séismes historiques de Chautagne (1822, I=VI-VII) et d'Aix les Bains (1956) attestant l'activité des diverses failles du secteur. V.F.: Faille du Vuache, C.F.: Faille de Culoz, C.C.F.: Faille du Col du Chat.

Sujet de la thèse :

Spectral element modeling of seismic wave propagation in 1D-1C and 1D-3C linear and nonlinear media including pore pressure effects

Doctorant :	Elif ORAL
Date du début de la thèse :	06/11/2013
Laboratoire :	PRP-DGE/SCAN/BERSSIN
Financement de thèse :	IRSN-IFSTTAR
Directeur de thèse :	Fabian Bonilla (IFSTTAR)
Tuteur de thèse :	Céline Gelis, Elise Delavaud
École doctorale :	Université Paris-Est

To assess site-specific seismic hazard, local geological conditions have to be considered because they may lead to ground motion amplification and increase of its duration. In the absence of earthquake recordings due to low seismic activity (long return period), numerical modeling of seismic wave propagation has been one of the widely used approaches to take these site effects into account.

The consideration of soil nonlinearity in the modeled media holds an important place in order to achieve simulations consistent with real observations for strong seismic shaking. Additionally, in the presence of strong ground motion in saturated soils, the pore pressure becomes an important parameter to take into account for the related phenomena such as flow liquefaction and cyclic mobility. In this study, first, one-component (1C) seismic wave propagation is modeled in linear and nonlinear media in 1D. Viscoelastic and nonlinear soil rheologies are implemented by using the memory variables technique and Iwan's elastoplastic model, respectively. Then, the same study is extended to a 1D-3C model and the influence of the pore pressure is included. The developed numerical model is based on the spectral element method with an explicit numerical integration scheme. The ground motion modification due to the presence of different soil layers overlying a relatively rigid half-space is studied by means of several simulations with the 1D-1C and the 1D-3C spectral element code for different assumptions of the soil rheology in the media and different input motions. A comparison between the results of the 1D-1C and 1D-3C codes and viscoelastic and nonlinear behaviors is made. Such a study allows helping the identification and understanding of the dominant phenomena occurring in superficial layers, depending on local conditions and input motions. Verification and validation of this numerical study will be done by studying the real cases of past earthquakes such as the 1993 Kushiro-Oki and the 1987 Superstition Hills events. As the perspective of this PhD study, I will continue with the development of the 3D-3C spectral code, which will include all the soil rheologies studied in the 1D-3C.

.../...

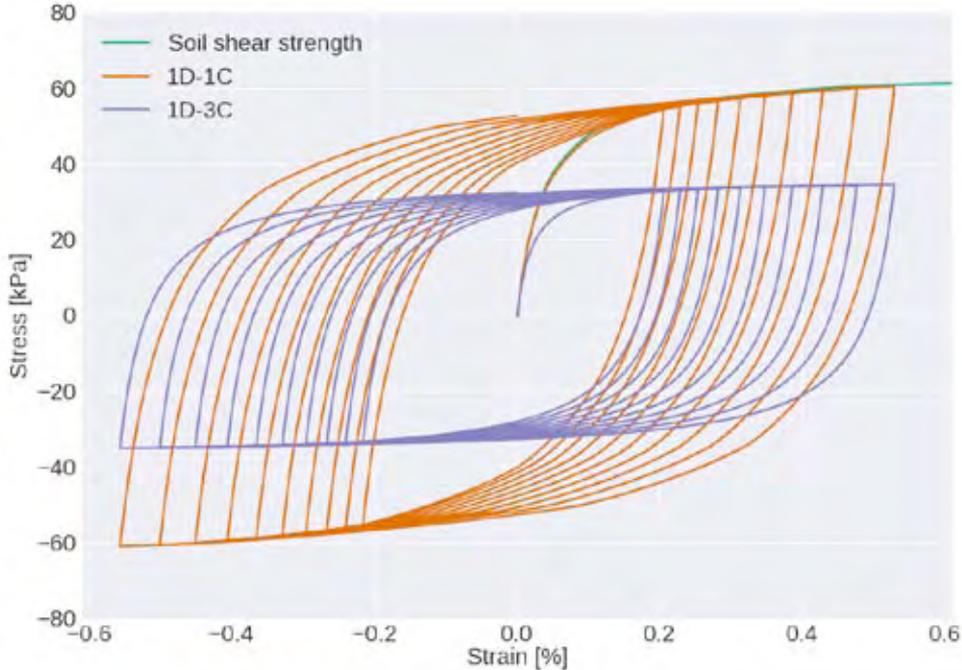


Figure: comparison between the 1D-1C, 1D-3C Iwan's modeling and the soil shear strength

Sujet de la thèse :**Évaluation empirique des effets de site : développement d'une méthodologie adaptée aux zones de faible sismicité**

Doctorant :	Vincent PERRON
Date du début de la thèse :	01/11/2013
Laboratoire :	PRP-DGE/SCAN/BERSSIN
Financement de thèse :	CEA-IRSN-ISTerre
Directeur de thèse :	Pierre-Yves BARD
Tuteur de thèse :	Céline GELIS, Elise DELAVALD
École doctorale :	ED 105 Terre, Univers, Environnement Grenoble 1

In order to assess site-specific seismic hazard, it is important to take the effects of local soil conditions into account as they can significantly modify ground motions. Numerical simulations that cannot alone address the whole issue of site effect evaluation needs to be completed with seismic recordings of real earthquakes. While this empirical approach seems readily usable in areas of high seismicity, where earthquakes of moderate-to-high magnitude are numerous, it is more difficult to implement in low seismicity areas, e.g. in mainland France.

In this study, we focus on the estimation of the κ (kappa) parameter (Anderson and Hough, 1984) in a low seismicity context. This parameter, that describes the high-frequency attenuation, constitutes an important input parameter for many applications (e.g. development of ground-motion prediction equations, source studies). The methodology that we followed is based on a direct measurement of the site-specific attenuation component (κ_0 , Ktenidou *et al.*, 2014) on the acceleration Fourier amplitude spectrum.

Our data come from the Southeast of France (Provence) characterized by a relatively noisy context (close to industrial facilities). Almost 300 events were recorded from 2000 to 2012 by an instrumentation using triggered accelerometers. An upgrade in 2012 gathering 17 velocimeters and 2 accelerometers operated on a continuous mode allowed to record almost 500 additional events in a range of local magnitude from 1.2 to 9.0 and from 3 km to 100° epicentral distance.

We discuss the potential use of the dataset for κ_0 estimation, according to the distance and the number of valuable earthquakes in terms of signal-to-noise ratio. We present estimates for three sites located few hundred meters from each other: two rock sites and one soil site. We also discuss the variability of the results and the importance of site response deconvolution that is needed to remove the site effects modification on the shape of the Fourier amplitude spectrum.

As the perspective of this PhD study, a database from the RAP (Réseau Accélérométrique Permanent français) will be actualized and other empirical methods will be tested (e.g. generalized inversion, coda analysis).

.../...

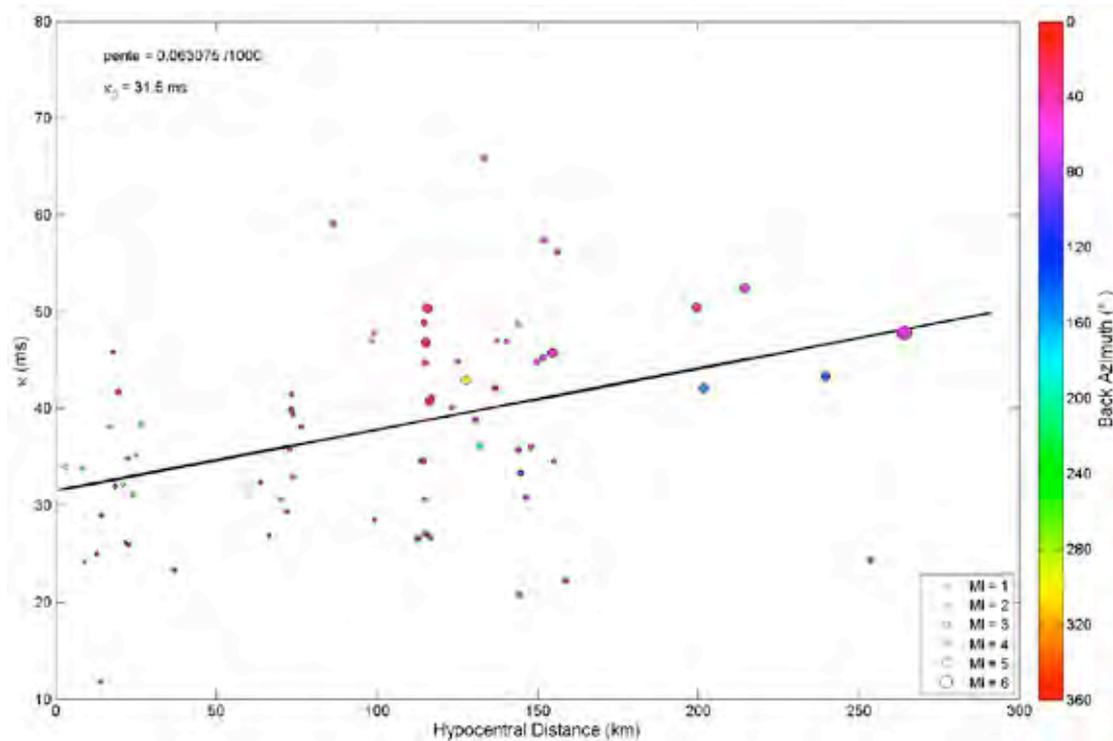


Figure 1: κ_0 assessment on a rock site in Cadarache. Individual values of κ are given according to the hypocentral distance, the back azimuth and the local magnitude.

➤ Espace du Moulin

Présentations posters

Pôle radioprotection :

➤ Sessions le mardi (13 h 50) et mercredi (10 h 15)

Dosimétrie - Épidémiologie - Radiobiologie - Sismologie -
Risques environnementaux - Transferts dans la géosphère.

Résumés pages 136 à 158.

Pôle sûreté :

➤ Sessions le mardi (13 h 50) et mercredi (10 h 15)

Combustible - Matériaux - Incendie - Méthodes -
Aérosols et filtration - Facteurs humains et organisationnels.

Résumés pages 159 à 194.

Sujet de la thèse :**Apport de la dosimétrie tissulaire et cellulaire
dans le traitement des patients par alphathérapie**

Doctorant :	Nadia BENABDALLAH
Date du début de la thèse :	15/09/2014
Laboratoire :	PRP-HOM/SDI/LEDI
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Didier Franck - IRSN
Tuteur de thèse :	Aurélie Desbrée
École doctorale :	Université Paris Saclay/PHENIICS

La médecine nucléaire thérapeutique repose sur l'administration d'un radiopharmaceutique, qui va se distribuer dans le corps du patient et se fixer plus spécifiquement dans les régions tumorales afin de les détruire. Parmi ces radiopharmaceutiques, les émetteurs alpha sont actuellement en plein essor : ils ont l'avantage par rapport aux émetteurs beta- de délivrer une plus grande quantité d'énergie sur un faible parcours. Ces propriétés leur confèrent donc une plus grande cytotoxicité pour les cellules tumorales tout en limitant l'irradiation aux tissus sains.

Ainsi, le Xofigo® ($^{223}\text{RaCl}_2$) est le premier à avoir obtenu l'autorisation de mise sur le marché pour le traitement de patients atteints de métastases osseuses prostatiques. De plus, il présente l'intérêt de pouvoir être réalisé en ambulatoire, d'où une demande grandissante des oncologues des hôpitaux français pour différents protocoles tel que le traitement de métastases osseuses du cancer du sein ou du rein.

Compte tenu des challenges posés par l'arrivée de ces nouveaux radiopharmaceutiques en thérapie, il est apparu nécessaire d'optimiser la dosimétrie du patient. En effet, comme décrit dans le décret du code de la Santé Publique, l'évaluation dosimétrique doit être réalisée au cas par cas, en veillant à ce que les doses reçues par les tissus sains soient maintenue au niveau le plus faible possible.

Pour cela, la première étape consiste à optimiser l'acquisition des images. En effet, bien que le ^{223}Ra soit principalement un émetteur alpha, il émet également des photons avec une probabilité d'émission supérieure à 1%, permettant la réalisation d'images avec une gamma-caméra. En collaboration avec l'Hôpital Européen Georges Pompidou, des expériences ont ainsi été mises en place à partir de fantômes physiques simples ainsi qu'un fantôme NEMA pour évaluer la sensibilité, la résolution spatiale et le spectre en énergie de la machine pour ce radiopharmaceutique.

Grâce à ces expériences, il a alors été possible de déterminer le protocole le plus adapté à l'imagerie du ^{223}Ra . Tous ces résultats seront également précieux pour analyser des images de la distribution du radiopharmaceutique dans le corps du patient et aller plus loin dans la reconstruction des images patient afin de personnaliser la dosimétrie.

Sujet de la thèse :**Approche intégrée des dommages des rayonnements ionisants :
de l'ADN aux protéines**

Doctorant :	Cécile DUBOIS
Date du début de la thèse :	15/10/2014
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/L2BT
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Simon Galas – IBMM Montpellier
Tuteur de thèse :	Sandrine Frelon / Catherine Lecomte Pradines
École doctorale :	Université de Montpellier / ED 168 Sciences chimiques et biologiques pour la santé

La radiosensibilité des organismes vivants dans l'environnement, évaluée lors d'une étude de synthèse en 2013, par détermination du débit de dose entraînant 10% d'effet, couvre 5 ordres de grandeur. Les mécanismes expliquant ces différences ne sont pas élucidés. Alors que les modèles classiques de radiotoxicité des rayonnements ionisants considèrent les dommages à l'ADN comme la lésion critique universelle dans les cellules, plusieurs études ont montré que les protéines, plus que l'ADN, étaient les cibles initiales des dégâts d'irradiation cellulaire, notamment via leur carbonylation. En effet, les protéines sont impliquées dans de nombreux processus de régulation et entre autre la réparation de l'ADN, l'élimination des protéines cellulaires endommagées (protéasome), la réponse au stress, ainsi que la structure et le transport cellulaire.

La carbonylation des protéines est une modification post-traductionnelle irréversible dont la quantité peut être augmentée notamment après irradiation gamma. La littérature montre qu'à fortes doses d'irradiation γ aiguë (entre 200 et 1000Gy), le taux de protéines carbonylées est corrélé à la mortalité de la bactérie *E. coli* (ED50=609Gy), ainsi qu'à une baisse dose-dépendante de la fécondité de *C. elegans* jusqu'à 800Gy. Cette baisse de la fécondité pourrait être due à des dommages à l'ADN non réparés du fait d'une inactivité des enzymes de réparation après carbonylation, et/ou d'un engorgement du système d'élimination des protéines endommagées (le protéasome) dès 2Gy. Cependant, à ce jour aucun mécanisme clair n'a été identifié, et surtout aucune étude ne s'est intéressée à la cinétique de production/élimination des protéines carbonylées et à leurs conséquences après irradiation chronique à des doses modérées, voire environnementales. Ainsi, les objectifs du projet de thèse sont d'établir les liens entre la cinétique de formation/élimination protéines carbonylées, leur nature, et les dommages à l'ADN, le statut redox cellulaire et de la reproduction du nématode *C. elegans*.

Afin de définir au mieux la fenêtre d'étude, le projet sera d'abord initié pour déterminer la cinétique de formation/élimination des protéines carbonylées après 2-3 doses choisies d'irradiation γ aiguë. Dans un deuxième temps, l'approche sera étendue à l'irradiation chronique.

.../...

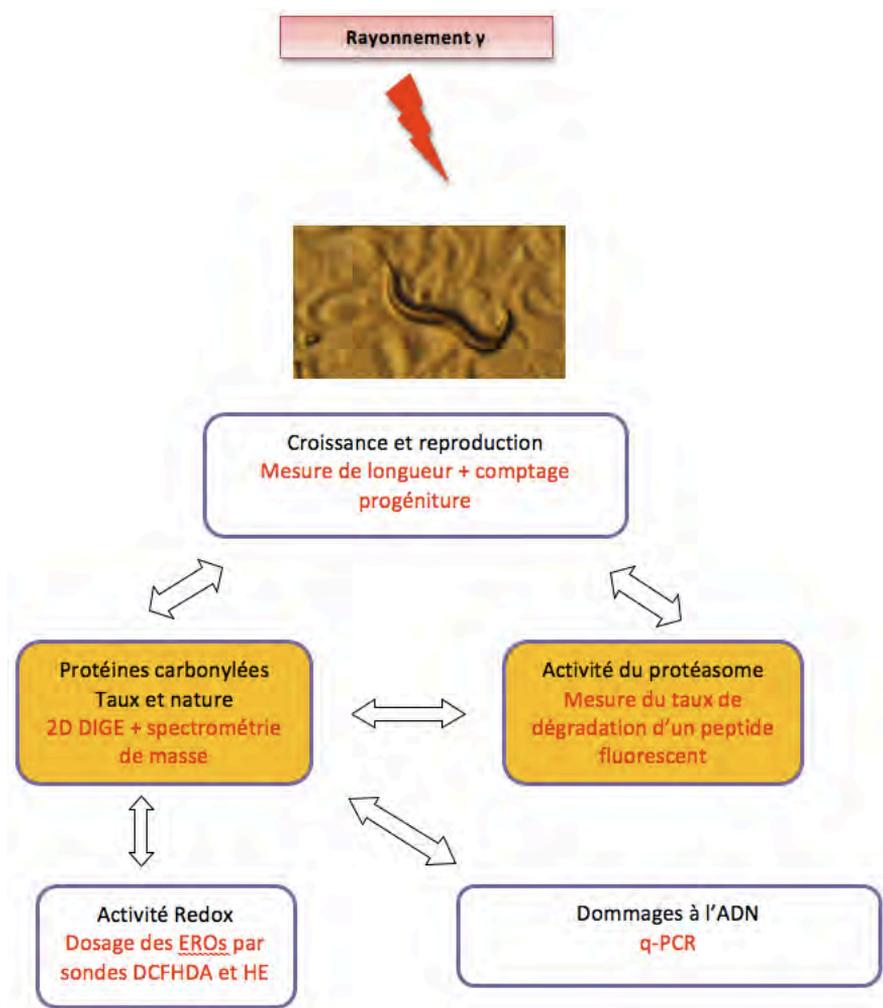


Figure : Paramètres d'études envisagés pour évaluer les dommages des rayonnements γ par une approche intégrée. Les encadrés jaunes font référence aux méthodes analytiques qui nécessiteront une mise au point, les encadrés blancs font l'objet de méthodes d'analyses déjà pratiquées et optimisées au SERIS.

Sujet de la thèse :**Variabilité des teneurs en Tritium Organiquement Lié et Carbone 14
au sein des hydrosystèmes continentaux côtiers méditerranéens - Rôle de la qualité
de la matière organique**

Doctorant :	Loïc DUCROS
Date du début de la thèse :	17/11/2014
Laboratoire :	PRP-ENV/SESURE/LERCM
Financement de thèse :	IRSN/région PACA
Directeur de thèse :	Sabine Charmasson (IRSN)
Tuteur de thèse :	Frédérique Eyrolle-Boyer
École doctorale :	ED251 Aix Marseille Université

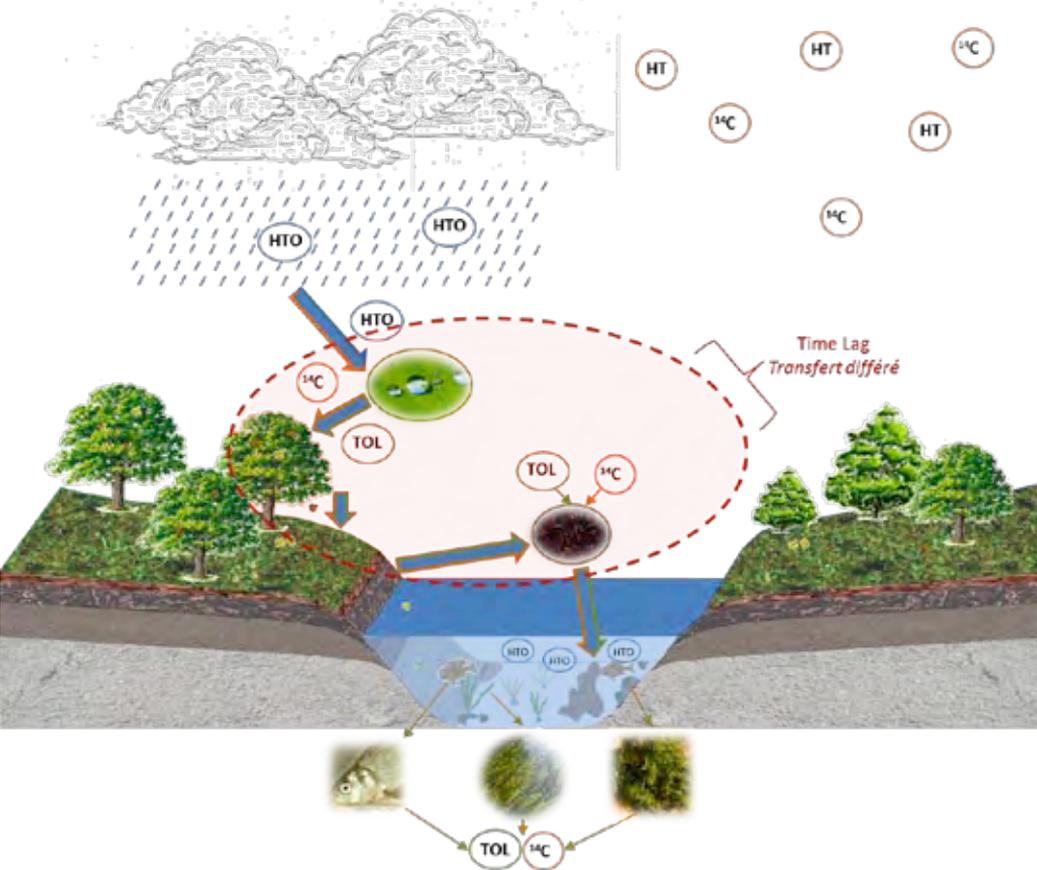
Naturellement présent dans l'atmosphère de par son origine cosmogénique, le Tritium (^3H), radioisotope de l'hydrogène, fut massivement rejeté dans l'atmosphère lors des essais nucléaires atmosphériques entre 1945 et 1980, engendrant une très forte augmentation des activités dans les précipitations. De plus, le ^3H et le ^{14}C sont les deux radionucléides principalement rejetés par l'industrie nucléaire actuellement. Naturellement présent sous forme gazeuse (HT), le Tritium peut se présenter sous forme d'eau tritiée (HTO) permettant son intégration au sein de la matière organique, par l'intermédiaire de processus photosynthétiques et métaboliques, au même titre que le ^{14}C .

Une fois intégrés à la matière vivante, le Tritium Organiquement Lié (TOL) et le Carbone 14 vont être stockés et suivre les processus de biodégradation tout en restant étroitement liés aux cycles de l'eau et du Carbone. Cependant, peu de données sont aujourd'hui disponibles sur le comportement de ces isotopes au sein des hydrosystèmes continentaux

De récents travaux montrent que le transfert différé de la matière organique détritique, anciennement marquée par les retombées des essais nucléaires atmosphériques, pourrait expliquer les gammes de variabilités entre les formes libres et liées du Tritium et du ^{14}C , observées dans diverses matrices aquatiques continentales et marines (sédiments, poissons, moules...).

L'objectif principal de cette thèse vise à acquérir des connaissances sur le comportement et la dynamique de ces deux radionucléides au sein des compartiments aquatiques, en vue de consolider ces hypothèses. Ce travail s'emploiera à établir les gammes de variabilité des niveaux en HTO, TOL et ^{14}C au sein des hydrosystèmes (ciblés au préalable), par l'intermédiaire d'une instrumentation adaptée. Mais aussi à établir des liens entre les activités de ces éléments et la qualité de la matière organique (en particulier vis-à-vis de son origine), à reconstruire les niveaux passés par des archives biologiques et sédimentaires et à caractériser les signatures de ces radioéléments jusqu'à leurs devenir en mer.

Cette présentation mettra en évidence les résultats préliminaires de concentrations en TOL et ^{14}C obtenus dans différentes matrices aquatiques, la stratégie de sélection des sites d'étude mise en place ainsi que la méthodologie envisagée pour mener à bien ce travail de recherche.



Sujet de la thèse :**Diffusion de radionucléides en conditions physico-chimiques hors équilibre
au travers de roches argileuses indurées : expérimentation vs simulation**

Doctorant :	Ikram FATNASSI
Date du début de la thèse :	11/10/2012
Laboratoire :	PRP-DGE/SRTG/LETIS
Financement de thèse :	IRSN/CEA/BELV
Directeur de thèse :	Sébastien SAVOYE/CEA, Philippe GOUZE /Université Montpellier II
Tuteur de thèse :	Charles Wittebroodt
École doctorale :	Université Montpellier II/SIBAGHE

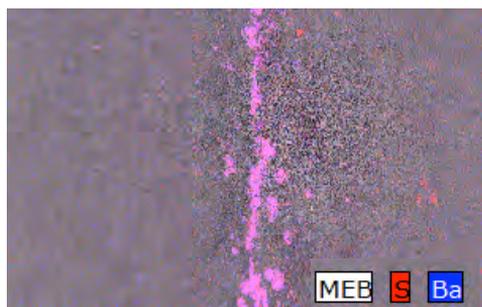
Cette thèse s'inscrit dans le cadre des études sur le stockage des déchets radioactifs HA/MAVL.

en couches géologiques profondes. L'objectif est de tester la capacité des codes couplés chimie-transport à prendre en compte l'impact des variations de porosité sur le transport des solutés, et ce, en concevant des expériences de diffusion colmatage/dissolution les plus simplifiées possible.

Pour ce faire, des montages expérimentaux de type «diffusion traversante» ont été adaptés pour l'étude de différents matériaux, de complexité croissante, des frittés de verre, du grès de la craie jusqu'aux argilites de Tournemire. En même temps qu'une expérience de diffusion de traceur inerte (eau tritiée ou deutérée), des réactions de précipitation (oxalate de calcium, gypse ou barytine) ou de dissolution (attaque acide de la craie) ont été réalisées au sein des échantillons par ajout des réactifs dans les réservoirs amont et aval des cellules. Enfin, ce jeu de données a permis de tester deux codes de chimie-transport (Crunch et Hytec).

Dans le cas des expériences réalisées au travers de la craie, il a été clairement observé au MEB un front de précipitation au sein du matériau, dont l'effet sur les flux diffusifs de traceurs de l'eau (HTO ou HDO), est plus ou moins important suivant le type de précipité. Ainsi, d'un côté, la cellule avec précipitation de barytine est impactée dès le départ par le colmatage, avec une baisse continue du flux de HDO, qui peut être jusqu'à 40 fois plus faible que le flux mesuré dans le milieu poreux sain. En revanche, la cellule avec précipitation de gypse est impactée beaucoup plus tardivement par le colmatage (70 jours après le lancement de l'expérience), et de manière moins marquée, avec des valeurs de flux baissant d'un facteur 3 par rapport à celles mesurées dans le milieu sain. Tout ceci tend à suggérer que l'efficacité du colmatage est plus liée à la nature du minéral qu'à la quantité précipitée. Enfin, après deux mois d'expérience, le flux de HTO de la cellule contenant l'échantillon d'argilite ne montre aucun impact en lien avec l'éventuelle précipitation de gypse, ce qui est cohérent avec les très faibles coefficients de diffusion mesurés dans cette roche.

Les premières simulations n'ont pas permis de reproduire les résultats expérimentaux. Ceci peut s'expliquer par la façon dont sont prises en compte les lois cinétiques et la loi d'Archie.



Barite precipitate within Chalk

Figure 1: Cumul d'activité (Bq) dans le réservoir aval dans la cellule barytine / craie

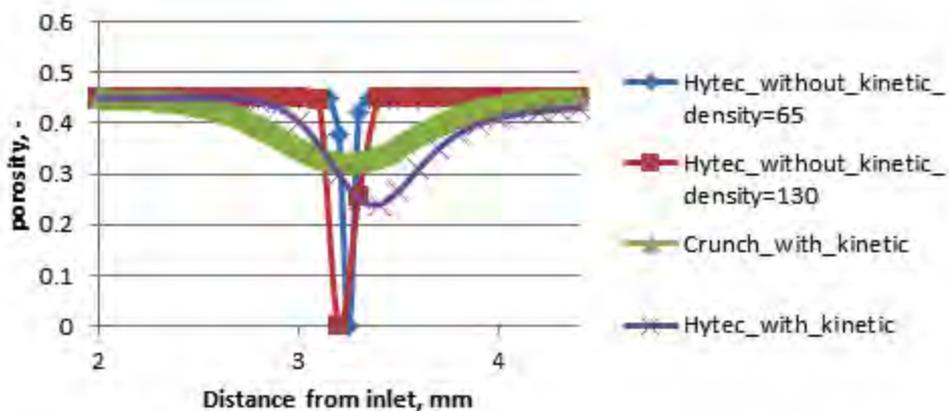


Figure 2: Comparaison entre la position du front de précipité de la barytine et la porosité calculée par les simulations chimie/transport.

Sujet de la thèse :

Effets sanitaires d'une exposition chronique à de faibles doses de rayonnements ionisants : contribution à l'estimation des risques radio-induits de cancers dans une cohorte française de travailleurs du nucléaire

Doctorant :	Lucie FOURNIER
Date du début de la thèse :	01/10/2014
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LEPID
Financement de thèse :	Bourse doctorale du ministère
Directeur de thèse :	Dominique Laurier - IRSN
Tuteur de thèse :	Klervi Leuraud
École doctorale :	Université Paris Sud / ED 420

Les normes de radioprotection visant à protéger le public et les travailleurs des effets néfastes des rayonnements ionisants (RI) sont principalement basées sur des risques estimés par le suivi épidémiologique des survivants des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki, exposés à des doses aiguës, moyennes à fortes, de RI. Cependant des incertitudes persistent quant à la quantification des risques associés à des expositions chroniques à de faibles doses et faibles débits de dose de RI, caractéristiques des expositions environnementales ou professionnelles. Afin de mieux caractériser les effets de ce type d'exposition, des études portant sur des travailleurs du nucléaire ont été mises en place dans différents pays. En France, la cohorte nationale des travailleurs du nucléaire regroupe plus de 59 000 agents statutaires du CEA, d'AREVA NC et d'EDF embauchés au moins un an avant 1994 et surveillés pour une exposition externe aux RI. Le suivi de cette cohorte jusque 2004 a mis en évidence un excès de risque (ERR) non significatif de cancer solide et un ERR significatif de leucémie myéloïde associés à l'exposition aux photons.

L'objectif de cette thèse est d'étudier la mortalité par cancer dans cette cohorte après l'extension de son suivi jusque 2013 et l'élargissement de son périmètre par l'intégration des agents embauchés entre 1995 et 2003, ce qui permettra de bénéficier d'une puissance statistique accrue pour l'étude de la mortalité. Cette mise à jour concerne les données administratives et dosimétriques des travailleurs, et la recherche des statuts vitaux et des causes de décès. La mortalité au sein de la cohorte sera comparée à celle de la population française par le calcul de rapports standardisés de mortalité. Puis le lien entremortalité et exposition professionnelle aux RI au sein de la cohorte sera étudié, en se basant sur des modèles en ERR. Une étude sur la pertinence et la faisabilité de prendre en compte les doses en dessous des seuils de détection des dosimètres lors des analyses dose-réponse sera réalisée.



Enfin, les résultats seront interprétés par rapport à leur intérêt en santé-travail et en radioprotection, et mis en perspective avec les autres cohortes de travailleurs du nucléaire en cours.

Sujet de la thèse :

Approche hiérarchique bayésienne pour la prise en compte d'erreurs de mesure d'exposition chroniques de rayonnements ionisants dans l'estimation du risque de cancers radio-induits. Application aux mineurs d'uranium

Doctorant :	Sabine HOFFMANN
Date du début de la thèse :	19/11/2014
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LEPID
Financement de thèse :	cofinancement IRSN-AREVA
Directeur de thèse :	Chantal Guihenneuc – Université Paris-Descartes
Tuteur de thèse :	Sophie Ancelet - IRSN
École doctorale :	ED420 Santé Publique – Paris Sud

Les expositions aux rayonnements ionisants évaluées au sein de la cohorte française des mineurs d'uranium sont entachées d'erreurs de mesure, spécifiques selon la période calendaire. Ignorer ces erreurs de mesure dans l'analyse d'une relation exposition-risque de décès par une pathologie donnée peut biaiser l'estimation du risque d'intérêt, ainsi que l'incertitude d'estimation associée, menant à des conclusions potentiellement erronées. Dans des travaux récents, des méthodes fonctionnelles fréquentistes de correction de l'effet de ces erreurs de mesure ont été proposées, principalement dans le contexte d'études de simulations, afin d'estimer un effet corrigé de l'exposition au radon sur le risque de décès par cancer du poumon chez les mineurs d'uranium. Bien qu'assez naturelles, ces approches fonctionnelles ont seulement permis une réduction partielle du biais d'estimation du risque étudié.

L'objectif de la thèse est d'affiner l'estimation corrigée actuelle du risque de décès par cancer du poumon, associé à une exposition chronique au radon, à partir des données de la cohorte française des mineurs d'uranium et d'une approche structurale bayésienne. Cette approche bayésienne, connue pour sa souplesse et sa pertinence pour la prise en compte d'erreurs de mesure, rend possible la mise en place de modèles complexes permettant de combiner de multiples sources d'incertitude au sein d'une même structure globale et cohérente.

Une telle approche sera tout d'abord mise en œuvre afin d'obtenir une estimation corrigée du risque de décès par cancer du poumon radio-induit chez les mineurs d'uranium, à partir de mesures erronées d'exposition au radon. Comme ces erreurs de mesures contribuent directement aux incertitudes inhérentes au calcul de la dose absorbée au poumon, il s'agira ensuite de réfléchir à comment adapter l'approche proposée afin de combiner les incertitudes inhérentes aux modèles d'erreurs de mesure, modèles dosimétriques, et modèles dose-risque afin de rendre l'estimation du risque de cancer du poumon radio-induit la plus réaliste possible.

Enfin, l'approche proposée sera adaptée pour évaluer l'impact des erreurs associées aux poussières d'uranium et aux rayonnements gamma auxquels sont exposés les mineurs d'uranium et d'estimer les excès de risque corrigés associés afin notamment de pouvoir mieux apprécier l'effet propre de l'exposition au radon.

.../...

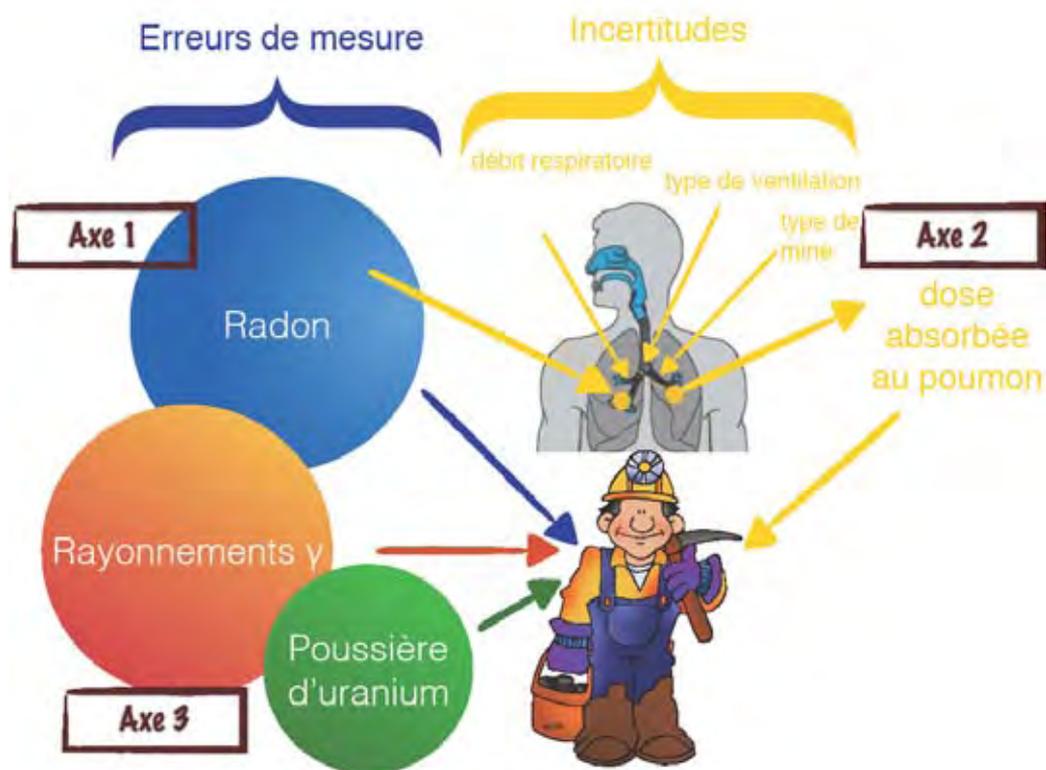


Figure 1: Les 3 axes de recherche de la thèse

Sujet de la thèse :

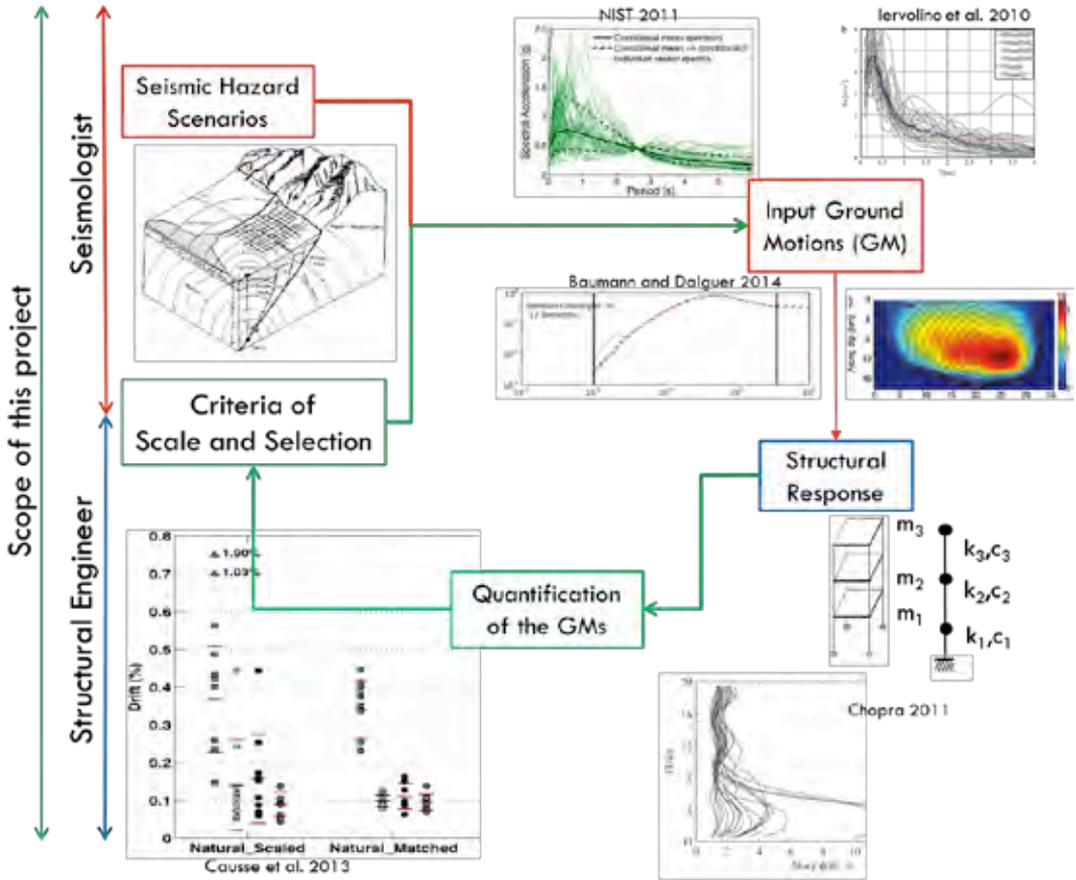
Élaboration de stratégies de sélection de signaux accélérométriques pour le calcul du comportement des structures

Doctorant :	Levent ISBILIROGLU
Date du début de la thèse :	16/12/2014
Laboratoire :	PRP-DGE/Scan/Berssin
Financement de thèse :	IFSTAR
Directeur de thèse :	GUEGUEN Philippe-IFSTAR
Tuteur de thèse :	LANCIERI Maria
École doctorale :	Grenoble/Terre, Univers, Environment

The main goal of the thesis is to quantify the effects of different input ground motions (GMs) on the nonlinear structural response. Nonlinear dynamic analysis is important to understand the hierarchy of failures, the quantification of energy absorption, and the seismic behavior of structures. While the nonlinear analysis is very sensitive to the selected input GM, research studies bridging between seismology and structural engineering have recently emerged for the ultimate goal of guiding engineering community.

Input GMs will be selected from real and synthetic data. Real data will be issued from the existing worldwide database following a conditional mean spectrum procedure. Synthetic waveforms will be generated by using several techniques spanning from the pure stochastic to hybrid (seismic-source based) methods. The different families of waveforms will be characterized in terms of intensity measures (IM), energy content and time/frequency analysis. In addition, the near-source effects will be investigated. Then, the signals will be inputted in several non-linear structural models, and structural demand indicators (i.e., structural drift) will be measured. The best strategy for signal selection will be determined based on the determination of median response, the assessment of vulnerability curve, and the evaluation of the failure probability.

.../...



Sujet de la thèse :**Changements phénotypiques des cellules endothéliales au cours du développement des lésions radiques pulmonaires**

Doctorant :	Jérémy LAVIGNE
Date du début de la thèse :	20/10/2014
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/L3R
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Agnès François - IRSN
Tuteur de thèse :	Agnès François
École doctorale :	ED394 Physiologie, physiopathologie et thérapeutique - UPMC

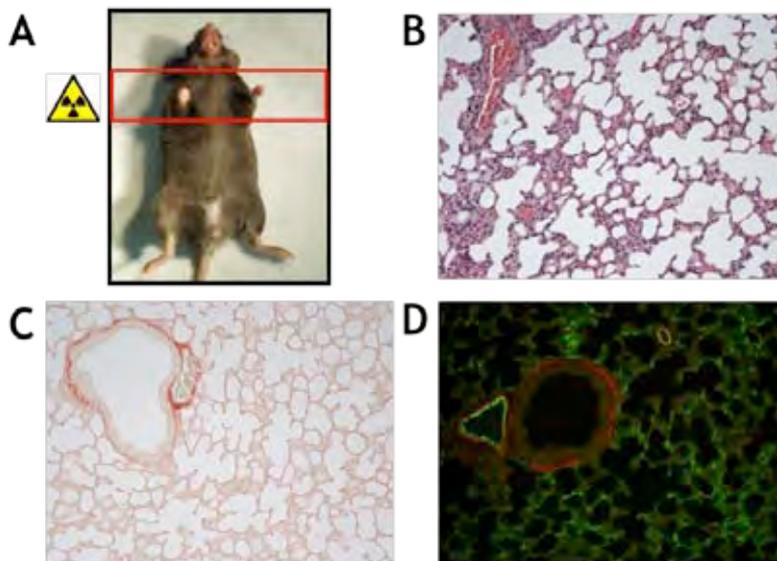
Le système vasculaire est commun à tous les organes et participe à la chronicité des lésions tissulaires. Toutefois, son rôle précis dans l'initiation et la progression des lésions radio-induites reste flou. Les cellules endothéliales irradiées acquièrent un phénotype pro-coagulant, pro-thrombotique, anti-fibrinolytique, et la modification de leurs interactions avec les cellules circulantes participe au développement de l'inflammation tissulaire radio-induite. Le maintien du phénotype pathologique dans le temps pourrait jouer un rôle dans le développement de la fibrose tissulaire. Les travaux du laboratoire ont permis de caractériser des acteurs moléculaires clés (PAI-1 et HIF-1 α) impliqués dans ce changement phénotypique des cellules endothéliales irradiées. Les rôles des gènes susnommés ainsi que la capacité des cellules endothéliales à s'orienter vers un phénotype mésenchymateux ont été étudiés *in vivo* dans le cadre de l'initiation et du maintien des lésions radiques digestives.

De par sa forte radiosensibilité, le poumon est un organe à risque déterminant en radiothérapie et une atteinte pulmonaire chez les patients traités par rayonnements ionisants peut avoir des conséquences hautement invalidantes. C'est pourquoi cette thèse a pour objectif d'explorer les changements phénotypiques des cellules endothéliales irradiées, et de valider sur des modèles transgéniques murins le rôle des acteurs moléculaires identifiés dans le système digestif dans le développement des lésions radiques pulmonaires.

Pour cela des approches *in vitro* et *in vivo* sont utilisées. La caractérisation de lésions pulmonaires radio-induites est en cours chez un modèle de souris exprimant la Green Fluorescent Protein dans l'endothélium, ceci avec la volonté de suivre la transition endothélio-mésenchymateuse radio-induite. Sur ce même modèle, différents marquages sont en cours de mise au point afin de suivre la gravité des lésions et les différents types cellulaires pulmonaires après irradiation. En parallèle, des expérimentations *in vitro* sont en cours afin de caractériser le phénotype radio-induit de cellules microvasculaires pulmonaires humaines.

Ces travaux ont pour perspectives une meilleure compréhension des lésions radiques pulmonaires et une ouverture éventuelle du projet sur un aspect thérapeutique. Des souris invalidées pour PAI-1 et HIF-1 Δ spécifiquement dans l'endothélium seront irradiées afin de déterminer le rôle de ces acteurs moléculaires dans l'initiation et le développement des lésions radiques pulmonaires.

.../...



(A) Modèle d'irradiation du thorax entier chez la souris. (B) Observation de la structure des tissus par coloration Hématoxyline-Eosine-Safran. (C) Marquage des fibres de collagène I et III par coloration au Rouge Sirius. (D) Co-marquages de la Green Fluorescent Protein (GFP) en vert et de l' α Smooth Muscle Actin (α SMA) en rouge pour mettre en évidence la transition endothélio-mésenchymateuse. L'ensemble de ces marquages ont été réalisés sur des coupes de poumons prélevés 7 jours après irradiation à 17Gy.

Sujet de la thèse :**Devenir du radium et du thallium aux interfaces nappes/rivières
dans les environnements miniers**

Doctorant :	Loïc MARTIN
Date du début de la thèse :	01/10/2014
Laboratoire :	Institut de physique du globe de Paris & DGE/SRTG/LETIS
Financement de thèse :	IRSN/BRGM/CEA
Directeur de thèse :	Marc Benedetti, IPGP
Tuteur de thèse :	Caroline Simonucci
École doctorale :	IPGP/École doctorale STEP'UP

Radium (Ra) and thallium (Tl) are potential contaminants in rivers at the vicinity of uranium mining sites. Downstream transport and reactions in the hyporheic zone (pore waters at the interface between river and groundwater) are rarely quantified. In this area, water volumes are small and do not allow the use of common techniques such as emanometry or gamma spectrometry for radium (important volume are necessary). Added to very low concentrations of Ra and Tl (10^{-15} M and 10^{-11} M respectively), it requires the development of a specific *in situ* sampler combined with high sensitivity measurements. This specific probe will be used to measure both concentrations and isotopic ratios (i.e., $^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$, $^{205}\text{Tl}/^{203}\text{Tl}$).

DGT (Diffusive Gradient in Thin-films) are passive sensors composed of a reactive/ad-sorption layer and an inert diffusive layer in contact with the aquatic system. Usually Chelex[®] resin is used as the reactive layer which allows retrieving specifically metal concentrations and potentially speciation data in natural waters. In this work, we developed a new hydrated gel able to preconcentrate Ra and Tl along with a multiwell DGT support in order to sample chemical and isotopic gradients in the hyporheic zone (pore waters at the interface between river and groundwater). Ra and Tl concentrations are measured by HR-ICP-MS (element 2, Thermo Scientific).

DGT Ra-Tl calibrations performed with synthetic or natural waters show preconcentration factors > 20. We also developed a 1D, 2D reactive transport model based on COMSOL[®] modules first to study the probe response to transient signals in river and then to define the appropriate diffusive layer thickness.

Sujet de la thèse :

Experimental and numerical characterization of the hydro-mechanical behavior of a heterogeneous material, powder/pellets bentonite mixture

Doctorant :	Agustín MOLINERO GUERRA
Date du début de la thèse :	30/10/2014
Laboratoire :	PRP-DGE/SRTG/LETIS
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Yu-Jun Cui – École des Ponts ParisTech
Tuteur de thèse :	Nadia Mokni
École doctorale :	Sciences, Ingénierie et Environnement - Université Paris-Est

Deep geological repository has been considered for high-level radioactive waste (HLW) in several countries. The safety of this disposal concept is based on the multi-barrier system consisting on the geological barrier and engineered barriers (waste container, buffer and sealing elements). In the French concept, once the waste containers will be installed, galleries and access shafts will be closed and sealed by swelling clay based cores.

In situ compacted MX80 powder/pellets mixture is one of the candidate sealing materials, not only because of its low permeability, high swelling capacity and high radionuclide retardation properties but also for operational advantages (lower compaction effort, reduced gaps between the rock and the seal). Once installed in the repository, these sealing materials will be subject to coupled hydro-mechanical loadings: hydration due to the infiltration of pore water from the natural barrier and mechanical confinement resulting from the engineered barriers.

In this context, the French Institute of Radiation protection and Nuclear Safety (IRSN) has launched the SEALEX project (SEALing performance Experiments) to which this work is closely related. The current work focuses on the mixture of MX80 bentonite powder and pellets with a proportion of 20/80 in dry mass used in the last two SEALEX in-situ tests. This material is characterized by the multimodal nature of its porous networks which influences most of its properties. The objectives of this thesis are (i) to characterize the hydromechanical behavior of the mixture at the micro and macro-structural levels and (ii) to propose a double structure constitutive model to describe the complex behavior of this material.

At the microstructure scale, one single pellet at two different suctions has already been examined by microfocus X-ray computed tomography (μ CT, Figure 1); this allowed a qualitative analysis of the evolution of the microstructure of the material. μ CT observations will also be performed on the mixture during the hydration. *Mercury intrusion porosimetry tests* are being performed to characterize the pore size distribution of pellets and powder of bentonite.

.../...

At the macrostructure scale, water retention properties of the material have been obtained using different techniques. Moreover, swelling pressure tests under constant volume conditions, suction controlled oedometer tests and two small scale (1/10) mock up tests of the SEALEX in situ experiments will be conducted.

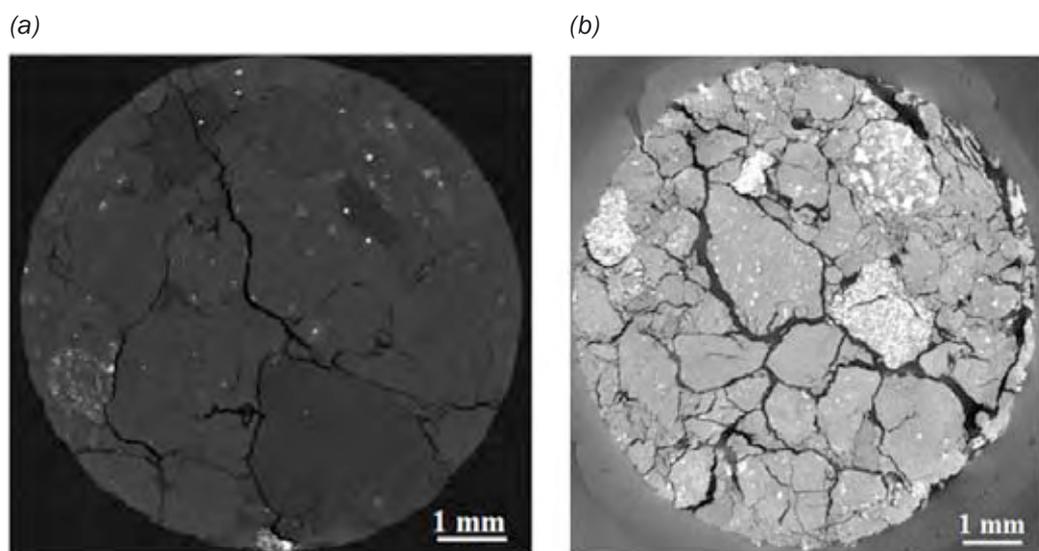


Figure 1. μ CT cross section at (a) $s = 132.4$ MPa and (b) $s = 9$ MPa

Sujet de la thèse :**Quantification des vitesses de dépôt sec et identification
des processus d'émissions des aérosols sur des couverts naturels**

Doctorant :	Geoffrey PELLERIN
Date du début de la thèse :	15/10/2014
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/LRC
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Evelyne GEHIN / CERTES
Tuteur de thèse :	Denis MARO
École doctorale :	Université Paris-EST / Sciences Ingénierie et Environnement

Les installations nucléaires sont susceptibles de rejeter, dans l'environnement, différents types de radionucléides sous forme de gaz et aérosol lors de situations de rejets chroniques ou accidentels. Ces aérosols radioactifs peuvent être soumis à des processus tels que le dépôt par temps humide, le dépôt par temps sec ou l'émission, après dépôt, depuis des couverts contaminés. Cependant, il existe des incertitudes d'au moins un ordre de grandeur sur les modélisations courantes de la vitesse de dépôt sec principalement dans le domaine submicronique (Petroff *et al.*, 2008). De plus, il n'existe pas de données pour des particules de taille nanométrique, dont la connaissance de la vitesse de dépôt est importante (conversion gaz-particules).

Une fois déposés les radionucléides peuvent être émis vers l'atmosphère. Ce phénomène d'émission est très souvent assimilé à de la remise en suspension éolienne qui concerne essentiellement les particules de taille de l'ordre de 10 μm et pour des vitesses de frottements seuil de 0,2 m s^{-1} (Marticorena et Bergametti, 1995). Néanmoins, Damay (2010) a observé des émissions de particules de taille comprise entre 0,2 μm et 2 μm , pour des vitesses de frottements du vent inférieures à 0,3 m s^{-1} , sur différents couverts naturels. Ce phénomène pourrait avoir plusieurs origines :

- la conversion de gaz en particules de composés gazeux biogéniques de type terpène (Held *et al.*, 2007) ou de dérivés azotés, puis un grossissement dans le couvert et enfin l'émission ;
- l'émission de bioaérosols.

Dans ce contexte, la thèse a pour premier objectif la quantification de la vitesse de dépôt sec des aérosols sur couverts naturels pour une gamme granulométrique 2,5 nm – 10 μm (majorité des particules atmosphériques susceptibles de véhiculer des radionucléides).

Le second objectif est l'identification des processus de remise en suspension de particules, pouvant être liés à l'émission de composés de type terpène et/ou de composés azotés, ou à l'émission de bioaérosols de type bactéries.

Les travaux concerneront le milieu prairial (voies d'atteinte de la chaîne alimentaire de l'Homme via le bétail) et forestier car ils représentent des surfaces importantes en France et se rencontrent autour des sites nucléaires français.

.../...



REA et son système d'acquisition

Quantification des flux de bioaérosols et de radionucléides naturels

Quantification des flux physiques

Exemple de différentes méthodes et moyens déployés pour les mesures de flux verticaux de bioaérosols et de particules lors du projet NEEDS REMORA en juillet 2014.

Sujet de la thèse :

**Modélisation à pas de temps horaire des transferts de tritium au sein
d'un écosystème prairial : caractérisation des flux et analyse de sensibilité**

Doctorant :	Hugo RENARD
Date du début de la thèse :	01/10/2014
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/LM2E et LRC
Financement de thèse :	co-financement IRSN/EDF
Directeur de thèse :	Corinne Le Gal La Salle - CEREGE
Tuteur de thèse :	Séverine LeDizès-Maurel, Denis Maro
École doctorale :	Aix-Marseille /Sciences de l'Environnement

Le tritium est rejeté dans l'environnement via les installations nucléaires. Dans le futur, ces rejets augmenteront avec le développement de nouvelles installations tel que ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) ou l'EPR. De plus, actuellement aucune technique de réduction des rejets de tritium n'est applicable à une échelle industrielle.

Les rejets tritiés sont susceptibles d'atteindre un écosystème de type prairie, qui est un maillon essentiel de la chaîne alimentaire de l'homme par l'intermédiaire du bétail. Or des incertitudes rémanentes existent sur les transferts du tritium depuis l'atmosphère vers un ce type d'écosystème. Dans les végétaux ces incertitudes concernent principalement le fractionnement isotopique du tritium, la formation du tritium lié à la matière organique la nuit et l'oxydation de l'hydrogène tritié dans les sols. De ce fait, il est nécessaire d'avoir une quantification plus précise des transferts de tritium pour avoir une meilleure évaluation de l'impact radiologique des rejets tritiés des installations nucléaires dans des situations chroniques ou accidentelles.

L'objectif de cette présente étude est de diminuer les incertitudes sur le fractionnement isotopique du tritium, la formation du tritium lié à la matière organique la nuit et l'oxydation de l'hydrogène tritié dans les sols. Le modèle TOCATTA- χ est en cours de développement pour quantifier les transferts de tritium dans un écosystème prairial à pas de temps horaire. Les précisions apportées par cette étude vont contribuer au développement du modèle en y implémentant un module hydrologique via un bilan hydrique du sol, ainsi qu'un module éco-physiologique via deux études. Pour quantifier la pertinence des modules implémentés au modèle TOCATTA- χ , ces processus modélisés seront confrontés à des mesures réalisées in situ et en laboratoire. Les données de terrain (sur la conversion de HT en HTO) proviennent d'un atelier d'expérimentations spécifiques situé sous les vents dominants de l'usine de retraitement des combustibles usés AREVA NC La Hague (Nord Cotentin). Les données de laboratoire, viennent d'un dispositif de culture hydroponique développé en laboratoire pour approfondir les connaissances sur le fractionnement du tritium isotopique du tritium dans l'herbe et la formation du tritium lié à la matière organique la nuit.

Sujet de la thèse :**Étude des dépôts par les nuages et les brouillards
des radionucléides sur les végétaux**

Doctorant :	Jackie TAV
Date du début de la thèse :	13/10/2014
Laboratoire :	PRP-ENV/ SESURE/ LERCM
Financement de thèse :	Météo-France/ IRSN
Directeur de thèse :	Laurent Pourcelot- IRSN
Tuteur de thèse :	Olivier Masson (IRSN)/Frédéric Burnet (MF)
École doctorale :	Université Paul Sabatier Toulouse

Après un accident nucléaire, de larges quantités de radionucléides sont rejetées dans l'atmosphère. Ces masses d'air contaminées présentent en premier lieu des risques liés à leur inhalation mais aussi des risques liés à leurs retombées, avec une éventuelle contamination de la chaîne alimentaire notamment au travers du dépôt humide sur les végétaux. Seul le cas des dépôts humides sous forme de pluie a été considéré. Cependant après l'accident de Fukushima des mesures d'activité dans les régions montagneuses au nord-ouest de la centrale ont mis en évidence des niveaux maximums dans des zones n'ayant pas connu d'évènement pluvieux mais où on note la présence de brouillard ou de formations nuageuses à proximité du sol.

L'objectif de la thèse est donc d'étudier ces processus de dépôts de radionucléides par les nuages et les brouillards sur des surfaces végétales. Pour cela une mesure de la masse d'eau déposée par les gouttelettes de brouillard sur des végétaux synthétiques est réalisée parallèlement à la collecte des eaux de brouillards. Le dispositif instrumental comprend deux balances de précisions sur lesquelles on place un support en polystyrène ainsi qu'un grillage n'entrant pas en contact avec la balance. Pour l'une des balances, les végétaux seront fixés sur le grillage afin de ne mesurer que la masse d'eau déposée sur la surface polystyrène et sur la seconde, les mêmes végétaux sont plantés dans le support pour la mesure du dépôt. Des collecteurs d'eau de brouillard actifs équipés d'un ventilateur aspirant les gouttelettes en suspension pour les amener sur une surface d'impaction (fils ou filet) sont utilisés. Les niveaux d'activité de l'eau ainsi récolté sont déterminés après évaporation et mesures sur des détecteurs puits « très bas niveaux ».



Dépôt de gouttelettes de brouillard
sur une feuille

Les épisodes de brouillard sont caractérisés grâce à un *fog* monitor, un visibilimètre et un PVM (Particle vision and measurement) fournissant respectivement le diamètre des gouttelettes (en μm), la visibilité (en m) et le contenu en eau liquide du brouillard (en g d'eau/ m^3 d'air). Les prélèvements seront réalisés sur trois sites : à Houdelaincourt (Meuse ; site de plaine), au sommet du Puy de Dôme (site d'altitude) et à Palaiseau (Essonne ; site péri-urbain).

Sujet de la thèse :**L'étude à différentes échelles des mécanismes d'action toxique
des radiations ionisantes chez *Daphnia magna***

Doctorant :	Marie TRIJAU
Date du début de la thèse :	29/10/2014
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/LECO
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Jean-Christophe Poggiale - Université d'Aix-Marseille
Tuteur de thèse :	Frédéric Alonzo
École doctorale :	Université Aix-Marseille, ED 251, Sciences de l'environnement

Face au risque écologique lié à la présence de radionucléides dans l'environnement, lors du fonctionnement normal des installations nucléaires ou suite à un accident tel celui de la centrale de Fukushima, il est nécessaire de mieux comprendre et d'anticiper les conséquences sur le long terme que les radiations ionisantes peuvent avoir sur les populations d'espèces naturelles.

Dans ce contexte, l'objectif de ma thèse est de préciser les mécanismes liant les effets induits par les faibles doses de radiations gamma, de l'échelle de la molécule à celles de l'organisme et de la population, et ce dans des conditions environnementales réalistes.

Des travaux récents chez le microcrustacé d'eau douce *Daphnia magna*, utilisé comme modèle biologique au LECO, ont mis en évidence l'apparition et l'accumulation d'altérations ADN lors d'une irradiation gamma ou d'une contamination à l'uranium appauvri sur plusieurs générations et leurs conséquences sur la survie, la croissance et la reproduction. La nature des mécanismes liant ces observations demeurent à éclaircir. En outre, ces études sont menées en conditions expérimentales optimales et constantes, très éloignées de la situation naturelle.

Mon projet de thèse suit donc plusieurs axes :

- préciser la nature des altérations moléculaires, et en particulier l'importance des modifications épigénétiques, telles que la méthylation de l'ADN, pouvant perturber la régulation de l'expression des gènes.
- d'étudier le rôle de l'apoptose, mort cellulaire programmée, assurant l'élimination des cellules les plus endommagées, mais pouvant entraîner une augmentation des coûts de croissance et de maturation ou une mortalité durant l'ovogénèse, pressentie lors des analyses du budget énergétique au niveau de l'organisme.
- d'explorer des conditions environnementales plus réalistes, comme une exposition discontinue aux radiations (recherche de stades de vie critiques) ou encore, des variations du niveau de nourriture (pouvant influencer la capacité des daphnies à faire face à la radiotoxicité).

.../...

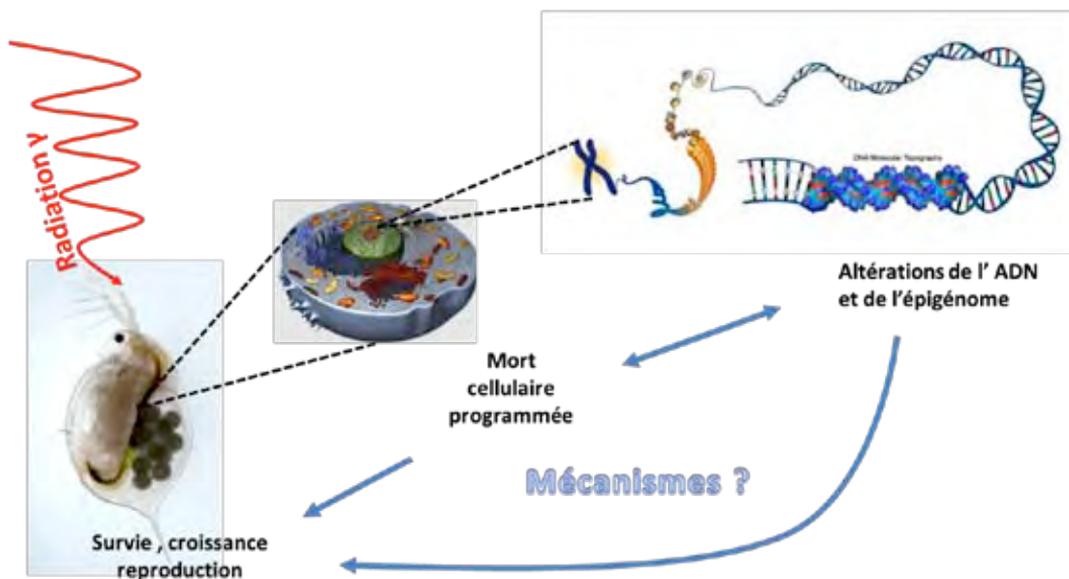


Figure: Schéma récapitulatif du projet de thèse, présentant les critères permettant d'évaluer les effets des radiations gamma sur *Daphnia magna* à l'échelle individuelle, cellulaire et moléculaire. L'objectif est de mieux comprendre les mécanismes liant les effets à l'échelle de la molécule et de la cellule à celle de l'individu.

Sujet de la thèse :**Étude comparative des phénomènes de transport convectifs et diffusifs
au sein de l'Argile à Opalines du Mont Terri**

Doctorant :	Catherine YU
Date du début de la thèse :	20/10/2014
Laboratoire :	PRP-DGE/SRTG/LETIS
Financement de thèse :	Cofinancement par le consortium du Mont Terri
Directeur de thèse :	Julio GONÇALVÈS - CEREGE
Tuteur de thèse :	Jean-Michel MATRAY - IRSN
École doctorale :	Université d'Aix-Marseille/ED251 École Doctorale des Sciences de l'Environnement

L'Argile à Opalines (OPA), étudiée au laboratoire du Mont Terri (Jura suisse), fait partie des formations argileuses sélectionnées comme roche hôte potentielle d'un stockage profond de déchets radioactifs de Haute Activité et à Vie Longue (HAVL). La thèse s'intéresse aux propriétés de confinement des argilites, dans un but d'analyse de sûreté d'un site de stockage géologique. Elle poursuit les études que mène l'IRSN pour expertiser les travaux de l'Andra sur l'argilite du Callovo-Oxfordien à Bure.

Quel phénomène de transport domine l'autre entre la convection sensu largo (incluant la chemo-thermo-osmose) et la diffusion au sein de l'OPA, et comment un transitoire hydraulique et chimique impacte le transfert des radionucléides ? Pour y répondre, plusieurs partenaires du projet Mont Terri (Swisstopo, Nagra, NWMO, BGR, GRS et IRSN) se sont associés pour réaliser un forage profond via l'expérience Deep Borehole, consistant en un forage incliné long de 250 mètres et équipé d'un système hydraulique multi-obturateur.

L'étude consiste tout d'abord à acquérir les paramètres de transports (advectifs et diffusifs, gradients de force associés) en vue d'estimer les flux d'eau et de solutés entre l'OPA et son encaissant aquifère. À ce jour, un profil préliminaire de perméabilité a été obtenu à partir de données pétrophysiques en utilisant une loi de type Poiseuille. Les coefficients d'emmagasinement spécifique ont été estimés avec un modèle hydromécanique basé sur les déformations poro-élastiques engendrées par les marées. Ces paramètres seront confrontés aux résultats d'essais hydrauliques in situ prévus en mars 2015. Les paramètres diffusifs et la chimie des eaux porales seront déterminés après les tests de diffusion et de lixiviation. Le volet expérimental sera suivi d'une phase de modélisation de la charge hydraulique en couplant les phénomènes susceptibles de générer un écoulement d'eau, en régime permanent ou transitoire. La modélisation des profils d'halogénures servira notamment à valider l'évolution paléohydrogéologique du site. Enfin, nous apprécierons l'importance relative de la convection sur la diffusion en calculant les nombres de Péclet.

Les résultats de cette étude permettront d'affiner les calculs de performance réalisés dans le cadre d'un stockage HAVL, en précisant le modèle à adopter pour mieux évaluer le transfert des radionucléides.

.../...

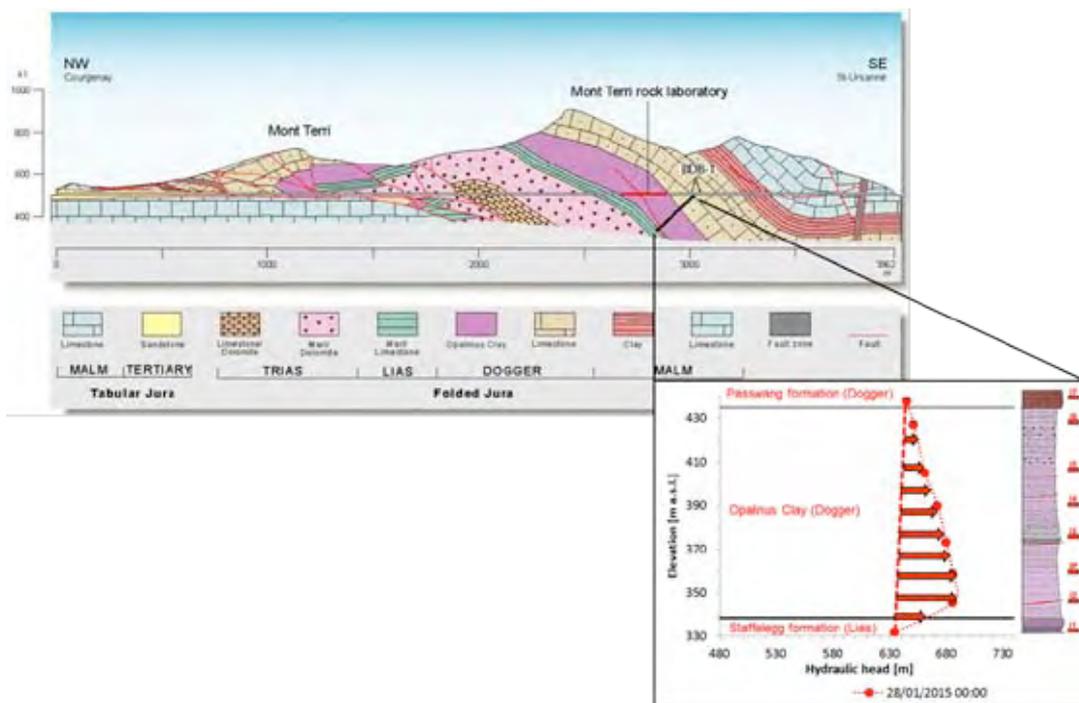


Figure: Coupe géologique du Mont Terri et profil d'excès de charge observé au sein de l'Argile à Opalines.

Sujet de la thèse :**Simulation expérimentale de l'interaction thermique au sein d'un fluide**

Doctorant :	Adrien ABBATE
Date du début de la thèse :	06/10/2014
Laboratoire :	PSN-RES/SEMIA/LIMAR
Financement de thèse :	co-financement EDF-IRSN
Directeur de thèse :	Philippe Haberschill et Romuald Rullière CETHIL, Lyon
Tuteur de thèse :	Pierre Ruyer
École doctorale :	Université de Lyon / MEGA

Un accident d'insertion de réactivité (RIA, événement à cinétique rapide causé par exemple par l'éjection d'une grappe de commande) dans un cœur nucléaire pourrait provoquer la rupture d'une gaine et l'éjection d'une fine poudre ardente de combustible dans le fluide caloporteur. La réponse du fluide peut être violente. L'étude de cette interaction (Fuel/Coolant Interaction FCI) est importante pour la sûreté nucléaire. Plusieurs études et expériences ont été menées avec de l'eau ou du sodium. Cependant, les conditions complexes ne permettent pas la mesure de certaines grandeurs locales telle que la dynamique de vaporisation.

En effet, effectuer des expériences de vaporisation violente avec de l'eau requiert beaucoup d'énergie et des équipements résistant aux hautes pressions, notamment pour reproduire les conditions de fonctionnement d'une centrale nucléaire de type REP. C'est pourquoi il est intéressant d'envisager l'utilisation d'un fluide, tel que le dioxyde de carbone, dont les propriétés thermodynamiques (pression critique, enthalpie de vaporisation...) réduisent ces contraintes. Néanmoins, afin de pouvoir comparer et utiliser les observations de l'expérience, il est indispensable d'établir et de vérifier des lois de similitudes entre les deux fluides. L'étude de ces similitudes entre l'eau et le dioxyde de carbone a établi qu'en conservant la pression réduite ainsi que le titre thermodynamique, on obtient des rendements similaires pour la conversion de l'énergie thermique en travail avec des énergies mises en jeu divisées par cinq. Ceci permet d'envisager la conception d'un banc d'essai pour provoquer l'interaction thermique violente au sein d'un fluide.

Afin de reproduire la cinétique de l'interaction, il est nécessaire d'adapter la géométrie du système. Plusieurs sources de puissance sont envisagées afin de décliner les conceptions et de choisir la plus pertinente. Le schéma ci-dessous illustre une réalisation probable du système expérimental.

Cette étude expérimentale permettra d'acquérir des mesures locales telles que la pression maximale et la quantité de vapeur formée. Elles seront utilisées pour valider les modèles intégrés dans le logiciel de calcul thermohydraulique CIGALON développé par l'IRSN.

.../...

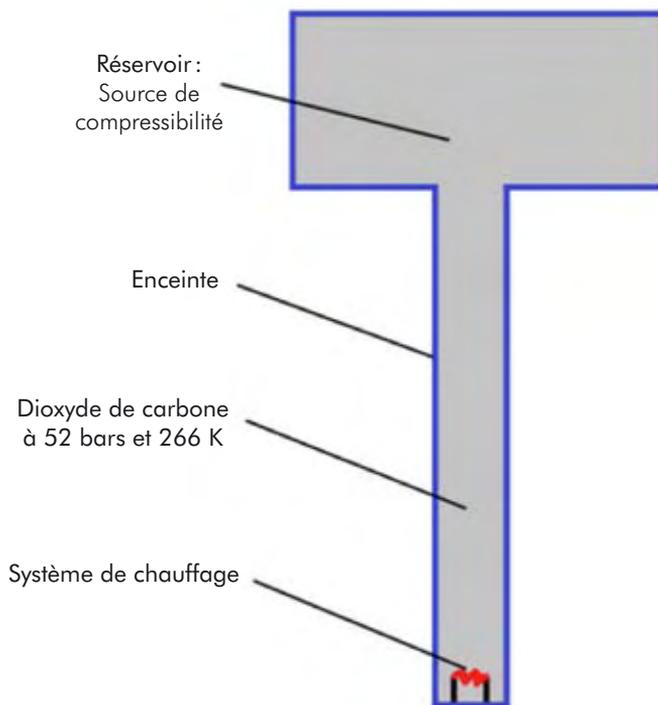


Figure 1: Schéma du dispositif expérimental envisagé.

Sujet de la thèse :

**Étude de la pyrolyse de matériaux en feu soumis à des régimes
de sous-ventilation contrôlée simulant des conditions environnementales réelles
d'un foyer en milieu confiné/ventilé**

Doctorant :	David ALIBERT
Date du début de la thèse :	01/10/2014
Laboratoire :	PSN-RES/SA2I/LEF
Financement de thèse :	Université d'AIX-MARSEILLE (AMU)
Directeur de thèse :	Bernard Porterie – IUSTI-Marseille
Tuteur de thèse :	Mickaël Coutin -IRSN
École doctorale :	AMU/ED 353 : Sciences Pour l'Ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique

Un incendie qui se déclare dans une installation nucléaire conduit le plus souvent à des feux dits confinés et sous-ventilés. Ces conditions environnementales couplées à la consommation d'oxygène de la combustion peuvent donc conduire au développement de l'incendie en milieu sous-oxygéné et le faible taux de ventilation du local va engendrer une accumulation des fumées. Cette viciation du milieu ambiant va modifier le rayonnement de la flamme vers la surface du combustible et influencer significativement le processus de pyrolyse. Il est donc important d'étudier l'influence du niveau d'oxygène ambiant sur les différents paramètres de combustion. Ces paramètres sont principalement le débit de pyrolyse, la production de suies et d'imbrûlés, le rayonnement de la flamme, sa température et sa forme. Le but de cette thèse est donc d'étudier expérimentalement et numériquement les effets du niveau d'oxygène sur ces paramètres, et donc sur le développement d'un feu.

Pour ce faire, un dispositif expérimental appelé CADUCEE (Controlled Atmosphere Device for Unburnt and Carbon Emission Evaluation) a été mis au point. Ce dispositif permet de réaliser des feux de moyenne échelle tout en contrôlant le niveau d'oxygène ambiant grâce à un mélange air/azote. Grâce à la mise en place d'une métrologie adaptée, CADUCEE permet donc de répondre parfaitement aux besoins de la thèse. Une première phase d'essais a permis de qualifier le dispositif et la métrologie. Elle sera suivie d'une première campagne d'essais portant sur des feux de solides et notamment le PMMA. Une seconde campagne d'essais sera réalisée sur des feux de liquides tels que l'éthanol, le TPH ou encore l'heptane.

Enfin, une étude numérique sera réalisée sur les logiciels SAFIR (IUSTI) et ISIS (IRSN) et permettra de prendre en compte les effets de la sous-oxygénation sur les paramètres de combustion. Cette étude aura pour but, dans un premier temps, de comparer les résultats obtenus grâce aux codes de calcul avec ceux obtenus à l'aide de CADUCEE et, dans un second temps, d'améliorer ces codes avec une meilleure prise en compte de la sous-oxygénation.

.../...



Sujet de la thèse :

Impact sur le colmatage en régime permanent et transitoire des écoulements d'air induits par le plissage des médias filtrants THE

Doctorant :	Youssef ALILOU
Date du début de la thèse :	24/11/2014
Laboratoire :	IRSN/PSN-RES/SCA/LECEV-LEMAC
Financement de thèse :	IRSN/Math2Market/LRGP
Directeur de thèse :	Dominique THOMAS/Nathalie BARDIN MONNIER - LRGP
Tuteur de thèse :	Philippe NERISSON/Thomas GELAIN
École doctorale :	Université de Lorraine/RP2E

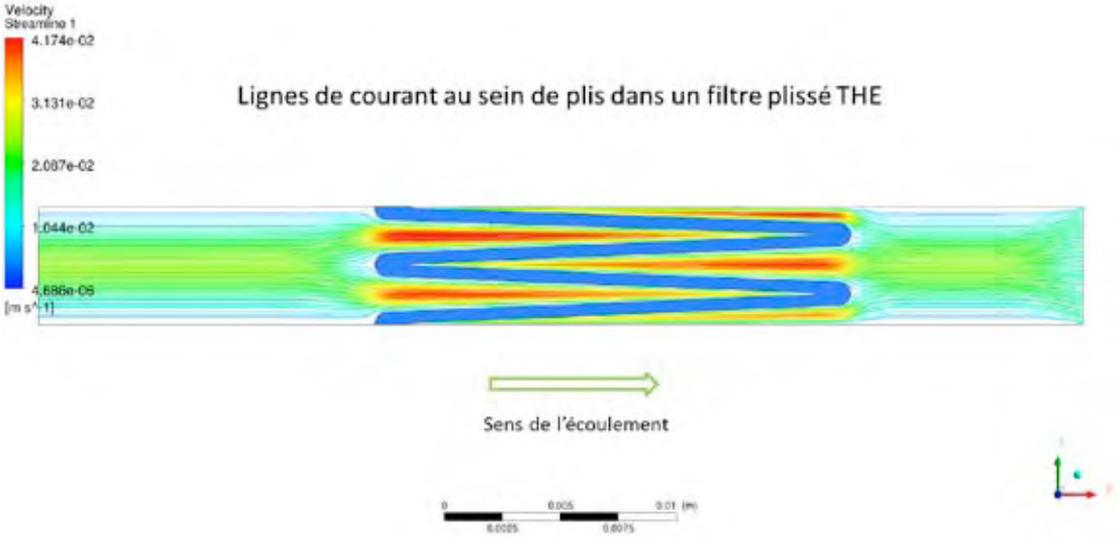
Les filtres THE (Très Haute Efficacité) jouent un rôle essentiel dans la protection de l'environnement en assurant le confinement des radionucléides dans les réseaux de ventilation des installations nucléaires. La connaissance et l'anticipation du comportement de ces équipements en situation normale et accidentelle (incendie) est donc un enjeu important pour L'IRSN, afin de garantir la sûreté des INB (Installations Nucléaires de Base). De nombreux travaux expérimentaux menés dans ce cadre (*Joubert 2009, Mocho et al. 2011, Bourrous 2014*) ont permis de montrer la diversité et la complexité des phénomènes mis en jeu. A l'heure actuelle, l'évolution de la résistance aéraulique d'un filtre THE plissé reste peu abordée dans la littérature, pour les conditions d'usage de l'industrie nucléaire (vitesse de filtration < 10 cm/s). Afin de pallier ce manque, ce travail de thèse propose une double approche numérique et expérimentale, basée sur la comparaison de codes de calculs CFD existants (Ansys, GeoDict) avec des expériences analytiques spécifiques (vélocimétrie laser, moyens de caractérisation in situ), qui servira de base à l'amélioration des modèles prédictifs de colmatage des filtres plissés.

Pour ce faire, la première phase consiste à reproduire le comportement du filtre vierge, notamment sa perte de charge initiale, pour différentes vitesses de filtration. L'accent est mis sur la caractérisation des écoulements dans le pli (approche couplée CFD/PIV) en tenant compte de son comportement mécanique (déformation du medium). Les premiers résultats numériques montrent un bon accord avec les résultats expérimentaux de perte de charge sur un pli. L'amélioration du dispositif expérimental existant et le recours à la technique de tomographie permettront de valider l'approche envisagée.

La seconde phase concernera l'étude du comportement du filtre soumis à un aérosol colmatant, selon une démarche similaire, en utilisant les travaux réalisés à l'échelle du medium qui ont permis de modéliser les phénomènes de pénétration et de dépôt des aérosols (*Gervais et al. 2014*).

Enfin, l'ensemble des résultats obtenus sera utilisé pour améliorer les modèles prédictifs d'évolution de perte de charge des filtres plissés THE à différentes échelles, durant leur colmatage (régime transitoire, réduction de surface).

.../...

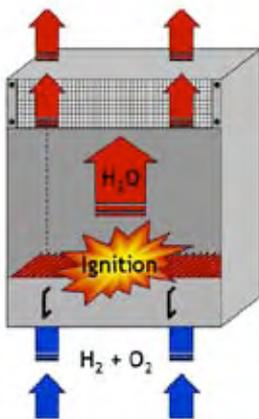


Sujet de la thèse :

Optimization of Passive Autocatalytic Recombiners with respect to gas phase ignition

Doctorant :	Aryadeep CHAKRABORTY
Date du début de la thèse :	03/11/2014
Laboratoire :	Forschungszentrum Juelich, Germany
Financement de thèse :	Forschungszentrum Juelich, Germany & PSN-RES/SAG
Directeur de thèse :	Univ.-Prof. Dr. Rer. Nat. Hans-Josef Allelein, LRST, RWTH University, Aachen, Germany
Tuteur de thèse :	Dr.-Ing Ernst-Arndt Reinecke (Germany) Nicolas Meynet (IRSN)
École doctorale :	RWTH Aachen University, Germany

During a severe accident like a Loss of Coolant Accident (LOCA) in a Nuclear Power Plant considerable amount of hydrogen and carbon monoxide may be produced due to various chemical reactions inside and outside the reactor vessel. The local or global concentration of hydrogen inside the containment may increase enough to ignite and induce combustion pressure loads which may threaten the reactor containment integrity. Consequently, several European nuclear reactors have been equipped with Passive Autocatalytic Recombiners (PARs) in order to keep the local molar fraction of hydrogen below 10 % to avoid flame acceleration, and the global molar fraction of hydrogen below 8 % to avoid excessive pressure in case of combustion (French criteria for safety).



PARs convert hydrogen and carbon monoxide respectively to steam and carbon dioxide with catalytic surface reactions. The heat release due to the exothermic reactions on the platinum coated catalytic plates develops a self-feeding by upward natural convection inside the chimney of the recombiner, leading to a very efficient recombination of hydrogen. However, high temperatures on the catalytic plates may lead to gas-phase ignition of the mixture close to the PARs (cf. Figure 1). This local ignition may spread outside the PAR-box causing possible damages to reactor containment safety components.

The PhD aims first at identifying the key phenomena leading to gas-phase ignition, and then at avoiding this ignition, typically by limiting the catalyst temperature of the recombiner, while preserving the efficient hydrogen conversion, a sufficient buoyancy-driven flow, and the robustness of the recombiner against catalyst deactivation. This work is done in collaboration between Severe Accidents Department at IRSN in France and Institute for Nuclear Waste and Reactor Safety, Forschungszentrum Juelich (FZJ) in Germany.

The experimental studies to better understand the fundamental mechanisms of gas-phase ignition on catalytic surfaces will be carried out in the hydrogen laboratory at Forschungszentrum Juelich. Simultaneously, design and interpretation calculations will be made within the REKO-DIREKT code (FZJ) and the SPARK code (IRSN). Furthermore, means will be proposed to avoid PAR gas-phase ignition, and experimental demonstrations will be made on the new PAR design. A comprehensive report will be submitted at the end of the PhD summarizing all the results.

Sujet du post-doctorat :**Étude des interactions iode-peinture dans l'enceinte de confinement
de réacteur nucléaire en situation accidentelle**

Post-Doctorant :	Elodie CHAUVET
Date du début du post-doctorat :	15/07/2014
Laboratoire :	PSN-RES/SEREX/L2EC
Financement du post-doctorat :	IRSN
Tuteur :	Juliette Colombani, IRSN

Lors d'un accident grave (AG) de réacteur nucléaire, une quantité importante de produits de fission est susceptible de se disperser dans l'enceinte de confinement du réacteur nucléaire. Parmi les espèces libérées, l'iode 131 apparaît comme un des isotopes les plus dangereux en raison de sa très forte radio-toxicité et sa faculté à former des espèces volatiles qui sont susceptibles d'être relâchées dans l'environnement.

Dans ce contexte, le programme EPICUR (Experimental Program on Iodine Chemistry Under Radiation) a été mis en place dans le but d'étudier le comportement de l'iode dans l'enceinte de confinement en situation accidentelle.



Figure 1: Installation EPICUR

Afin de mieux comprendre la chimie de l'iode, des essais permettant de reproduire les conditions d'un accident grave (en température, pression, dose...) sont réalisés sur l'installation EPICUR (Figure 1). Ces essais permettent de définir et quantifier les espèces iodées qui sont susceptibles de se former dans l'enceinte de confinement. Ces essais ont permis de mettre en évidence que l'iode, réagit avec les surfaces peintes de l'enceinte de confinement et que sous l'effet du rayonnement il y a formation et volatilisation d'iodures organique (RI), d'iode moléculaire (I_2) voire d'aérosols. Afin de mieux prédire ces relâchements, des techniques de chimie théorique ont été mises en œuvre pour modéliser les interactions iode-peinture.

Ce travail de post-doctorat consiste, par la mise en œuvre de techniques d'analyse très diverses comme l'IRTF (Infra-Rouge à Transformée de Fourier), la RMN (Résonance Magnétique Nucléaire) et la RPE (Résonance Paramagnétique Electronique), à comprendre la réactivité de l'iode avec les peintures. Plus particulièrement, l'objectif est d'étudier les changements radio-induits tels que la formation des liaisons-interactions iode/peinture et la formation des radicaux radio-induits.

Sujet de la thèse :**Méthode de raffinement local adaptatif multi-niveaux
pour la fissuration de matériaux hétérogènes**

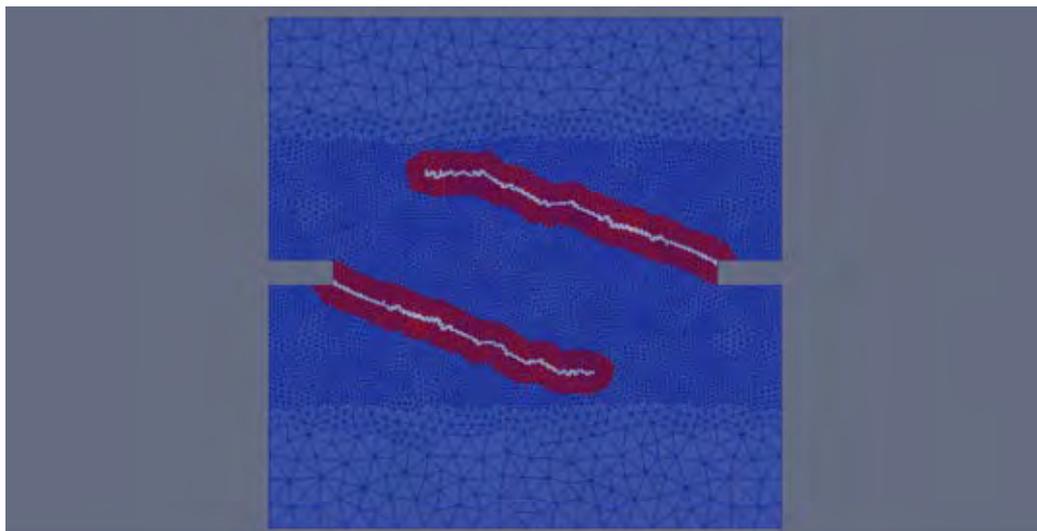
Doctorant :	Eric DELAUME
Date du début de la thèse :	06/10/2014
Laboratoire :	PSN-RES/SEMIA/LPTM
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Loïc DARIDON – Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil
Tuteur de thèse :	Frédéric PERALES
École doctorale :	I2S – Université de Montpellier

Afin d'anticiper les effets du vieillissement des centrales électronucléaires, l'IRSN s'intéresse aux recherches avancées sur le vieillissement du béton (enceinte de confinement) et des composants métalliques (cuve, interne de cuve et générateur de vapeur). L'approche micromécanique développée par l'IRSN en collaboration avec le Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil de Montpellier dans le cadre des recherches relatives à la sûreté des réacteurs à eau sous pression pour l'analyse des tenues des gaines de combustible lors de transitoires accidentels peut être appliquée aux problématiques liées au vieillissement des matériaux. L'approche, basée sur les notions de modèles de zone cohésive frottante (MZCF), a été développée par l'IRSN. Cette approche repose sur un découplage du comportement en une partie volumique, décrivant le comportement des mailles et une partie surfacique décrivant la fissuration entre les mailles. Elle permet l'étude fine de l'initiation, de la propagation de multifissures ainsi que des phénomènes post ruptures (contact, frottement, cicatrisation,...). Cependant, les temps de calcul sont élevés pouvant atteindre plusieurs semaines en 2D.

L'objectif de la thèse est de réduire les temps de calculs liés à cette approche, tout en conservant la même précision. La stratégie adoptée est l'adaptation de la résolution fine en espace dans les zones d'intérêt à l'aide de techniques de raffinement local adaptatif : au cours du calcul, le maillage est raffiné dans les zones d'intérêt suivant un indicateur. L'indicateur de raffinement est fourni par la méthode « d'Eigenerosion », peu coûteuse numériquement. Les méthodes de raffinement de maillage envisagées sont la méthode Conforming Hierarchical Adaptive Refinement MethodS (CHARMS) basée sur le dé/raffinement des fonctions de base ou la méthode Hanging Nodes (HN) reposant sur une interpolation des fonctions de bases. Ces méthodes permettent de prendre en compte des maillages non conformes géométriquement et en particulier ne présentent pas les inconvénients des méthodes de remaillage.

Dans un premier temps, le raffinement de maillage adaptatif est appliqué aux méthodes d'« Eigenerosion ». Puis, la méthode sera étendue aux modèles de zones cohésives, afin de réaliser des études fines 3D de fissuration de matériaux hétérogènes soumis à des chargements représentatifs de transitoires accidentels.

.../...



Application à un cas test soumis à un chargement en mode mixte de la méthode « d'Eigeneration » avec raffinement de maillage.

Sujet de la thèse :**Évaluation des rejets accidentels dans l'installation ITER : Béryllium et Tritium**

Doctorant :	Laura FERRY
Date du début de la thèse :	15/10/2014
Laboratoire :	IRSN/PSN-RES/SAG
Financement de thèse :	IRSN/région PACA
Directeur de thèse :	Yves FERRO - PIIM
Tuteur de thèse :	Marc BARRACHIN/François VIROT
École doctorale :	Aix-Marseille Université /École doctorale des Sciences Chimiques

L'analyse de sûreté de l'installation de fusion expérimentale ITER consiste à évaluer la quantité et la nature chimique des radionucléides pouvant être rejetés dans l'environnement en cas d'accident (terme source). Initialement, dans les évaluations, seuls le tritium (T), l'activation des poussières de tungstène (matériau constituant la première paroi, avec le béryllium) et les produits de corrosion issus des systèmes de refroidissement étaient considérés. Au regard de son extrême toxicité chimique, les poussières de béryllium doivent être également prises en compte. Une étude conduite dans le cadre d'un projet de recherche exploratoire a permis de clarifier la thermodynamique du système Be-O-H-T à l'état gazeux.

L'objectif de cette thèse consiste à poursuivre ces travaux en étudiant les facteurs qui limitent la formation des composés gazeux et les interactions hétérogènes entre gaz et poussières. Les premières évaluations du terme source ont montré que le béryllium, l'hydrure de béryllium (BeH_2) et l'hydrure de béryllium tritié (BeT_2) étaient les composés solides d'intérêt prioritaire.

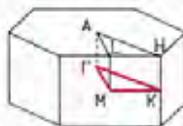
Il faut donc déterminer les propriétés électroniques et structurales de ces systèmes en se basant sur la Théorie de la Fonctionnelle de la Densité (DFT). Cette étude est menée par l'intermédiaire du logiciel Quantum espresso avec l'utilisation d'ondes planes et de pseudo-potentiels.

Avant toute chose, les premiers modèles permettant de décrire le béryllium métallique et la formation de défauts ont été établis et construits. Cette étape essentielle consiste en une optimisation de la taille des super-cellules et des différents paramètres de calcul tels que le choix du pseudo-potentiel, l'énergie de coupure, l'échantillonnage de la zone de Brillouin (nombre de points k) et la valeur du smearing. Au travers de ces modèles, certaines grandeurs physiques ont été calculées (paramètre de maille, énergie de cohésion, diagramme de bande, module de compressibilité) et comparées aux données disponibles dans la littérature (théorique et expérimentale) afin de les valider. Un bon accord est obtenu entre ces dernières et les résultats obtenus à l'issue de ces premiers travaux, comme le montre le diagramme de bandes illustré après.

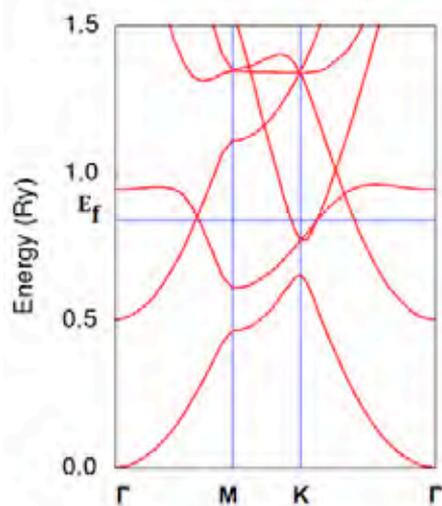
La prochaine étape consistera à étudier, l'hydrure de béryllium massif, les surfaces de Be et BeH_2 mais également les premières grandeurs thermodynamiques via l'analyse des spectres de phonons.

.../...

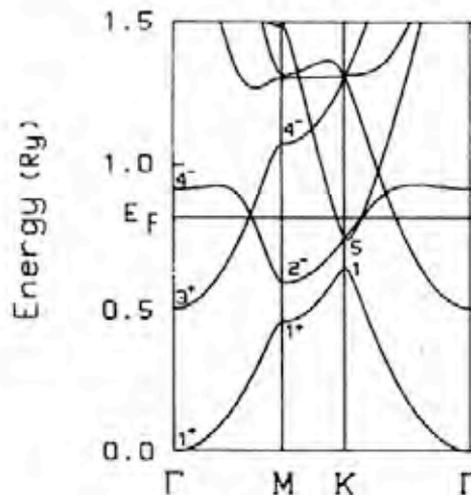
Première zone de Brillouin de la structure hcp avec les points de haute symétrie spécifiés



Chou, M. Y. et al. Phys. Rev. B
1983, 28, 4179-4185



$E_f = 8.21 \text{ eV}$



$E_f = 11.15 \text{ eV}$

Comparaison du diagramme de bandes du Be hcp calculé au cours des premiers travaux de la thèse avec la littérature scientifique

Sujet de la thèse :

**Méta-modélisation introspective pour l'analyse de phénomènes physiques simulés.
Formalisation dans le cadre du krigeage et intégration algorithmique
en optimisation et inversion**

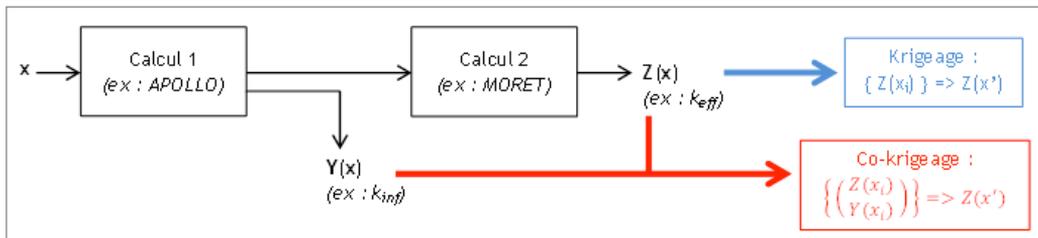
Doctorant : Nicolas GARLAND
Date du début de la thèse : 20/10/2014
Laboratoire : PSN-EXP/SNC/LNC
Financement de thèse : IRSN
Directeur de thèse : Rodolphe Le Riche – EM Saint Etienne
Tuteur de thèse : Yann Richet
École doctorale : Saint-Etienne - École doctorale Sciences, Ingénierie, Santé

La thèse se place dans le cadre de l'utilisation des chaînes de calcul (enchaînement séquentiel de plusieurs codes de calculs distincts) dans les expertises de l'IRSN.

L'objectif est d'améliorer les algorithmes, qui sont actuellement utilisés en assistance aux expertises pour analyser la réponse simulée en fonction des paramètres de modélisation.

Le Laboratoire de Neutronique du Cycle utilise de telles simulations physiques pour déterminer les risques d'emballement (d'un stockage de combustible nucléaire par exemple) pour une configuration donnée. Ainsi les algorithmes utilisés pour optimiser la configuration déterminent les nouvelles simulations à tester de manière adaptative en exploitant un méta-modèle stochastique (krigeage) du coefficient de multiplication des neutrons (k-effectif).

Par exemple, dans la chaîne de calcul APOLLO-MORET, qui calcule cette réactivité, APOLLO calcule d'abord la réactivité du milieu fissile seul, supposément infini (k-infini). Mais cette grandeur contient une information sur la réactivité du système réel fini qui n'est actuellement pas utilisée dans un méta-modèle classique.



L'exploitation de ces informations intermédiaires de la chaîne de calcul doit donc conduire à une meilleure méta-modélisation, et accroître ainsi l'efficacité des algorithmes. En outre, un gain en temps de calcul est possible lorsque la grandeur intermédiaire disqualifie l'intérêt du reste de la chaîne de simulation (k infini très faible, par exemple).

.../...

Le travail consiste à développer les méta-modèles et les algorithmes correspondants, qui vont prendre en compte l'information intermédiaire.

Les méta-modèles retenus à ce jour se basent sur des modélisations stochastiques de type co-krigeage qui traitent $Y(x)$ comme une sortie supplémentaire. La définition de la covariance spatiale de la sortie s'en trouve ainsi largement complexifiée (on doit ainsi définir une covariance entre $Z(x)$ et $Z(x')$ mais également entre $Y(x)$ et $Y(x')$ et entre $Y(x)$ et $Z(x')$, en veillant à une cohérence globale).

Un premier développement d'une méthodologie de comparaison de l'efficacité d'un tel méta-modèle séquentiel comparativement à une méta-modélisation classique, montre des perspectives intéressantes et l'intérêt de l'approche introspective.

Sujet de la thèse :**Analyse de propagation de flamme Hydrogène-Air-Vapeur en milieu confiné**

Doctorant :	Romain GROSSEUVRES
Date du début de la thèse :	03/11/2014
Laboratoire :	IRSN/PSN-RES/SAG/BPhAG
Financement de thèse :	IRSN CNRS
Directeur de thèse :	Nabiha Chaumeix
École doctorale :	École doctorale de l'université d'Orléans

Cette thèse s'inscrit dans le cadre des études concernant les accidents graves dans les Réacteurs à Eau Pressurisée (REP) liés au risque hydrogène. Ce risque est défini comme la perte d'intégrité de l'enceinte de confinement ou de détérioration des systèmes de sécurité, suite à une combustion d'hydrogène libéré lors de l'oxydation des métaux contenus dans le cœur du réacteur par de la vapeur d'eau.

Une flamme de prémélange peut se propager suivant deux modes : un mode lent nommé déflagration, où la vitesse des gaz frais par rapport au front de flamme est subsonique, et un mode rapide nommé détonation, où la vitesse est supersonique. En fonction de la géométrie interne du milieu où se propage la flamme, de la composition du mélange initial et du niveau de turbulence, une déflagration peut subir des phénomènes d'accélération ou au contraire de décélération voire d'extinction. Ces phénomènes ne sont pas parfaitement compris et des études expérimentales et de modélisation complémentaires sont nécessaires.

Les travaux de cette thèse visent à caractériser la propagation de flammes hydrogène/air/vapeur en milieu confiné dans des conditions représentatives de cas d'accidents graves en réacteur à eau pressurisée. Les conditions d'accélération/stabilisation/extinction de flamme seront investiguées, notamment en étudiant les impacts de la température, de la concentration en vapeur d'eau et de la turbulence sur ces régimes de propagation. Dans un premier temps, les paramètres fondamentaux de flammes d'hydrogène seront investigués au travers de la détermination de vitesse de flamme laminaire en bombe sphérique. Egalement, dans cette même installation expérimentale, l'impact du niveau de turbulence sera corrélé à la vitesse de flamme. En parallèle à ces travaux, une nouvelle installation (ENACCEF-II) sera mise en place et permettra dans un dernier temps d'étudier la propagation de flamme en milieu confiné obstrué.

Sujet de la thèse :

Theoretical study of iodine aerosols chemical reactivity in severe accident conditions for a nuclear power reactor

Doctorant :	Houssam HIJAZI
Date du début de la thèse :	octobre 2014
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/LETR
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	J. F. Paul – UCCS Lille 1
Tuteur de thèse :	L. Cantrel
Ecole doctorale :	Université Sciences et Technologies – Lille 1

The PhD subject comes in support to the modelling of the chemical behavior of iodide aerosols in severe accident conditions because has been shown that CsI aerosol, deposited on a glass surface, is rapidly and almost entirely oxidized into gaseous molecular iodine as illustrated in Figure 1.

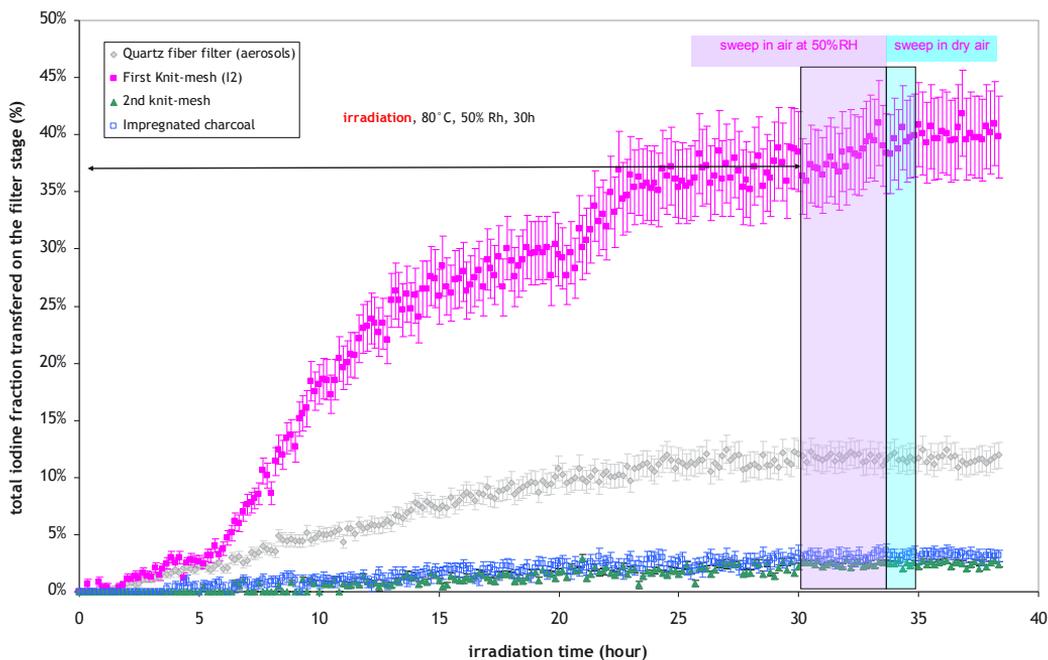


Figure 1: Result of irradiation test of CsI aerosol deposits on glass surface, $T=80^{\circ}\text{C}$ and with a RH of 50%, dose rate of about 1.5 kGy/h. In pink release of $\text{I}_2(\text{g})$ is measured as a function of time.

.../...

This potential source of gaseous iodine has to be considered in iodine Source Term evaluation. At that time the experimental information are limited to CsI, and in practice the source of iodine aerosols which can reach the nuclear containment building is much more complex (multi-component aerosols formed with Ag, Cs, Cd, B etc.).

The first objective of my PhD is to identify the mechanism leading to the oxidation of CsI into I₂(g) under radiolysis and in air-steam atmosphere. Studies at the molecular level are performed using the periodic quantum periodic software like VASP. Hydration of CsI is supposed to be the first step of the reaction and is considered in the first part of the work.

We added one water molecule on the (011) surface and we started by the adsorption dissociated and non-dissociated of one water molecule.

The reaction energy for the dissociated adsorption is positive and very large, as shown in Table 1, while the non-disso one is negative. It means that there is only one stable adsorption mode which is non-dissociative one. Indeed, the dissociative case leads to the formation of proton bonded to the Iodine and to the formation of an O-H- group bonded to the cesium atom. But the very large acidity differences between HI and OH⁻ induced a non-activated jump of the proton from the iodine to the OH group.

	adsorption energy for dissociated H ₂ O (eV)	adsorption energy for non-dissociative H ₂ O (eV)
Single cell	+3.736	-0.395
Double cell	+3.736	-0.379

Table 1: Adsorption energies, in eV, for the different configurations.

The perspectives are to take into account explicitly the water layer which is created by the CsI hydration and to determine its role in the iodine oxidation and more precisely to compare the interaction of an OH^o group with the I⁻ anion with and without water.

Sujet de la thèse :**Méthodes d'essais de vieillissement accéléré des bétons
à l'échelle des ouvrages**

Doctorant :	Jacques JABBOUR
Date du début de la thèse :	20/10/2014
Laboratoire :	PSN/SES/BEGC et LMT Cachan
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Georges Nahas
Tuteur de thèse :	Aveline Darquennes (ENS Cachan) et Georges Nahas
École doctorale :	EDSP ENS - Cachan

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du prolongement de la durée de vie des réacteurs nucléaires, et concerne l'étude des pathologies pouvant affecter leurs enceintes en béton. Les pathologies étudiées sont la Réaction Sulfatique Interne (RSI) et la Réaction Alkali-Granulats (RAG), réactions chimiques provoquant dans leurs phases de développement un gonflement puis une mise en traction du béton et la création de fissures dans les structures des ouvrages concernés.

Avec le vieillissement des centrales, les conditions d'apparition de ces phénomènes doivent être étudiées. Cependant, leurs cinétiques de développement, l'apparition des désordres engendrés sont en général lentes (jusqu'à quelques dizaines d'années) et limitent les possibilités de programmes expérimentaux dédiés. Une des solutions pratiquées dans les laboratoires de recherche consiste à utiliser des protocoles d'essais de vieillissement accéléré mis au point sur des éprouvettes ou des échantillons extraits par carottage.

L'étude portera sur l'adaptation des protocoles d'essais de vieillissement accélérés sur éprouvette à des structures représentatives d'un ouvrage réel. Les bétons utilisés seront similaires ou équivalents aux bétons des ouvrages de génie civil nucléaires (enceintes de confinement et radiers des réacteurs). La taille des structures représentatives, les conditions utilisées pour le développement accéléré des pathologies, sont les deux principaux thèmes de cette thèse. La validation de la méthode utilisée sera notamment effectuée par des observations au MEB et des analyses par tomographie. Cette dernière méthode permettra de caractériser la microstructure des matériaux cimentaires et son évolution (porosité, fissuration, nouveaux hydrates...) conséquente au développement de la RSI et de la RAG. Cette technique non destructive permettra également de suivre l'évolution temporelle de ces pathologies sur des images 3D d'éprouvettes.



Figure 1: Béton dégradé par la RSI

En complément, des études en laboratoire et sur carottes extraites des structures seront menées afin de comprendre les mécanismes réactionnels pouvant permettre de traiter les bétons et arrêter les réactions.

Sujet de la thèse :**Interaction of sodium fire aerosols with radionuclides in case of a severe accident
in sodium cooled reactor**

Doctorant :	Ankita JADON
Date du début de la thèse :	16/02/2015
Laboratoire :	PSN/RES/SAG/LETR
Financement de thèse :	AREVA
Directeur de thèse :	Denis PETITPREZ – PC2A
Tuteur de thèse :	Sidi SOUVI et Nathalie GIRAULT
École doctorale :	Université de Lille 1

In the context of Gen IV reactor development, the consequences of a severe accident in sodium cooled fast nuclear reactor (SFR) have to be investigated. One critical risk of a severe accident (SA) is the core disruption accident and production of contaminated aerosols in the containment building by ejection of primary-coolant-system sodium through the reactor top vault. Being pyrophoric, the ejected sodium droplets react with oxygen first oxidizing then burning, with a significant release of heat of combustion and regarded as a potential threat to the integrity of the containment vessel. Beyond the effects of pressure and temperature, it is important to analyze the chemistry of interaction of the sodium aerosols and radio iodine in order to monitor their effect. Moreover, this analysis is an essential step in the analysis of the source term.

The different and successive species of sodium aerosols formed are sodium peroxides/hydroxides/carbonates are very reactive in nature and they can readily react with the fission products which are also present in the containment of an SFR. In addition to being toxic (in oxide form), the aerosol will then become radioactive. If such aerosols are leaked in the environment they can contaminate the environment and pose danger to the humans and plants in the vicinity.

The aim of this doctoral research is to study the interaction between sodium fire aerosols and iodine for a more quantitative source term prediction in case of a SA in an SFR. Theoretical investigation as well as experimental tests are planned that will serve to improve the modelling of containment phenomenology in the simulation code currently developed in the IRSN for computing severe accidents.

In order to carry the experiments dedicated to study the interaction between sodium aerosols and radio iodine, surface energy calculations of different sodium fire aerosol compounds like carbonates and bicarbonates will be first performed using the density functional theory; VASP (Vienna ab initio simulation package). These calculations will provide us with the entropies and standard enthalpy of formation of these compounds at and their interaction with iodine.

Sujet de la thèse :**Mécanismes de transfert aéraulique au travers d'ouvertures : application à l'efficacité du confinement dynamique d'enceintes de chantiers**

Doctorant :	Salima KAISSOUN
Date du début de la thèse :	17/11/2014
Laboratoire :	PSN-RES/SCA/LEMAC
Financement de thèse :	IRSN/EDF - CIDEN
Directeur de thèse :	Eric CLIMENT – Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse
Tuteur de thèse :	Laurent RICCIARDI, Corinne PREVOST
École doctorale :	École doctorale Mécanique Energétique, Génie Civile & Procédés - MEGeP

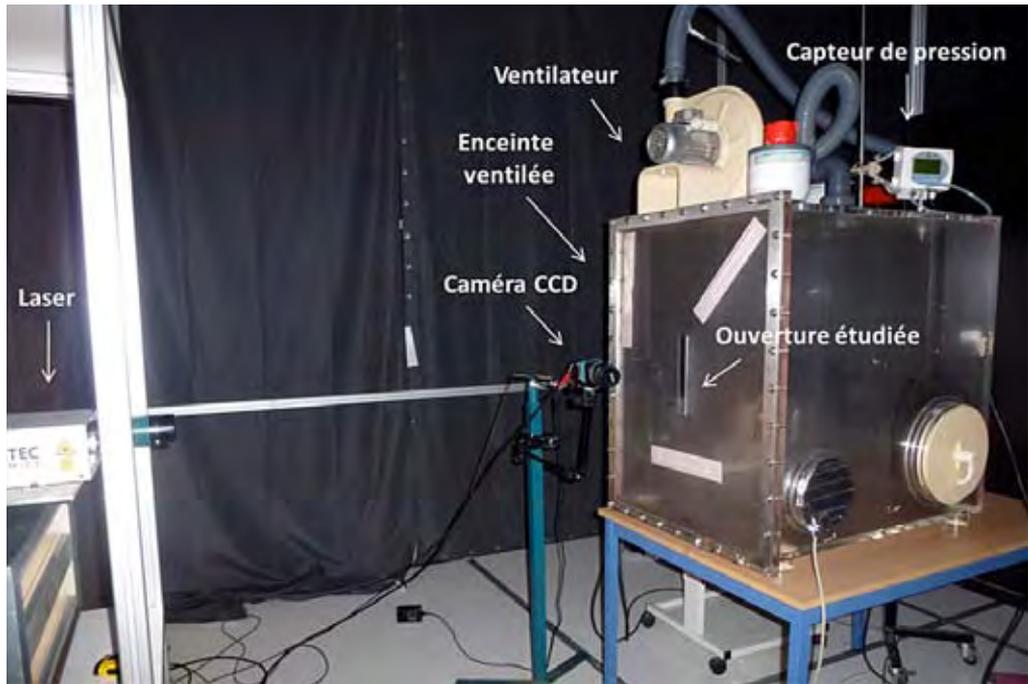
Le confinement dynamique est une technique mise en œuvre dans les installations nucléaires. Elle consiste à imposer un sens d'écoulement d'air préférentiel au travers d'une ouverture (nominale ou intempesive) séparant deux zones physiques afin d'orienter la contamination vers la zone la plus polluée et d'éviter tout transfert vers l'extérieur de l'enceinte de confinement. Des critères aérauliques tels qu'une vitesse débitante à l'ouverture ou une dépression imposée sont actuellement utilisés par les exploitants, y compris dans les sas de chantiers lors des opérations de maintenance et de démantèlement.

L'objectif de la thèse est d'évaluer la pertinence de ces critères en caractérisant les mécanismes pouvant conduire à une éventuelle « rétrodiffusion » de contaminants au travers d'ouvertures sur des sas souples et semi-rigides. Il s'agira de caractériser, au moyen d'expérimentations et de simulations numériques menées sur des ouvertures calibrées, les écoulements et la quantité de polluant susceptible d'être transférée en fonction de la dépression ou de la vitesse débitante, des caractéristiques de l'ouverture, des perturbations thermo-aérauliques internes et externes au sas et de la nature du polluant. L'objectif, in fine, sera d'identifier les approches de modélisation de la turbulence les plus pertinentes (DNS, LES, voire RANS/LES) pour restituer les phénomènes fortement instationnaires attendus au niveau des ouvertures.

Actuellement et en parallèle à la recherche bibliographique, des expérimentations sur une enceinte ventilée existante de faible volume sont mises en œuvre (cf. figure ci-après) afin d'identifier les configurations pouvant donner lieu au phénomène de rétrodiffusion. Plusieurs caractéristiques de l'ouverture sont étudiées (géométrie, taille, emplacement, épaisseur de la paroi) et différents paramètres sont testés (dépression dans l'enceinte, perturbations thermique et aéraulique internes à l'enceinte...).

Par la suite, une première étude numérique sera menée sur une de ces configurations d'intérêt identifiées afin d'aider au choix de l'approche numérique et des modèles de turbulence à privilégier. Les pré-études citées précédemment donneront lieu au dimensionnement du dispositif expérimental final, ainsi qu'à la mise en place des simulations numériques. Enfin, il est envisagé une validation finale à échelle 1 sur un sas ventilé.

.../...



Sujet de la thèse :**Élaboration et mise en œuvre des référentiels techniques pour la régulation des risques nucléaires : le cas des prescriptions en matière d'inondation**

Doctorant :	Michaël MANGEON
Date du début de la thèse :	01/11/2014
Laboratoire :	PSN-SRDS/SFOHREX/LSHS
Financement de thèse :	ANR/Programme AGORAS
Directeur de thèse :	Frederique Pallez/Mines ParisTech Centre de Gestion Scientifique
Tuteur de thèse :	Olivier Chanton
École doctorale :	Mines ParisTech/Centre de Gestion Scientifique

Les risques d'inondation externe concernent directement la sûreté des installations nucléaires. Pour réguler ce risque, un premier document de référence « para-règlementaire », apparaît en 1984, sous la forme d'une Règle Fondamentale de Sûreté.

En décembre 1999, l'inondation de la centrale du Blayais est révélatrice de défaillances dans la mise en œuvre de certains aspects réglementaires. La démarche « Rex-Blayais » établie par EDF suite à cette inondation, sert de base de travail à l'élaboration d'un nouveau référentiel, construit sous la direction de l'ASN par une pluralité d'acteurs et qui prend la forme d'un guide ASN, sortie en 2013.

Notre thèse vise à identifier les modalités de conception collective des règles et des instruments de la régulation des risques nucléaires, considérés dans le cadre de notre thèse comme des outils de gestion. Il semble que le souci de légitimation est un des vecteurs du processus de conception et une des clés de l'appropriation et de l'utilisation des référentiels par les exploitants.

Notre travail s'appuie sur l'analyse de différents documents produits ou utilisés au cours de l'élaboration du guide et des entretiens avec différents acteurs. Actuellement, l'analyse documentaire a permis de tracer un historique et plusieurs entretiens ont déjà été menés au sein de l'IRSN avec des acteurs impliqués dans l'évaluation du risque d'inondation. Il est également prévu d'analyser la prise en compte du risque d'inondation sur des sites pétrochimiques de type SEVESO pour permettre une mise en perspective, avec le nucléaire.

Un second objectif de notre thèse est d'analyser les rapports entre sûreté nucléaire et aménagement/gestion de l'eau. En effet, certains scénarios d'inondation postulent la défaillance d'ouvrages qui aura un impact direct sur une ou plusieurs installations nucléaires. Ici, le dialogue entre acteurs présente des enjeux importants en termes de sûreté. A cet égard, nous chercherons à décrire précisément les rapports entre acteurs de la régulation de la sûreté nucléaire et certains acteurs de la gestion de cours d'eau concernant certains ouvrages (barrage, canaux, digues...).

Par ces croisements d'échelle et l'analyse socio-historique, les résultats de notre recherche pourraient servir, pour l'IRSN, à rendre plus robuste et pertinente l'élaboration et l'appropriation de futurs référentiels techniques.

Sujet de la thèse :

Planification adaptative d'expériences et krigeage non-stationnaire : application à la prise en compte des incertitudes dans les études mécaniques en sûreté nucléaire

Doctorant :	Sébastien MARMIN
Date du début de la thèse :	20/10/2014
Laboratoire :	PSN-RES/SEMIA/LIMAR
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	David Ginsbourger – Université de Berne ; Jacques Liandrat – École Centrale Marseille
Tuteur de thèse :	Jean Baccou
École doctorale :	École Centrale Marseille

Le contexte général de la thèse est la prise en compte des incertitudes dans les analyses mécaniques en sûreté nucléaire. Il s'agit notamment de savoir si les variations des paramètres d'entrée des codes de calcul complexe utilisés ne peuvent pas faire basculer le système vers un comportement très différent de celui de référence voire l'amener dans un état qui ne respecterait pas les conditions de sûreté. Pour cela, des techniques de planification d'expériences numériques peuvent être mises en œuvre afin d'effectuer de nouvelles simulations dans des zones pertinentes (zones à forts gradients, zone de dépassement de seuil,...) et réduire le coût de calcul de l'analyse.

Pour la planification d'expériences, le recours à des méthodes de prédiction issues des statistiques spatiales a fait ses preuves pour raffiner l'exploration de l'espace des variables dans des régions d'intérêt. Les modèles substituent alors la fonction inconnue par un processus gaussien interpolant (krigeage). Toutefois, la covariance du processus est souvent supposée stationnaire, ce qui n'est pas toujours compatible avec le type de fonction rencontré en pratique (Figure 1).

Le premier objectif de ce travail est donc la construction de nouveaux modèles de processus non stationnaires pour décrire le comportement hétérogène de la réponse d'un code. Le second objectif est leur intégration dans une planification adaptative d'expériences. Les développements seront validés sur des applications en mécanique de la fissuration de matériaux hétérogènes issues des activités du laboratoire commun IRSN-CNRS-UM MIST.

Le travail réalisé a consisté d'abord à faire une étude bibliographique sur la modélisation par processus gaussiens non stationnaires. Deux approches basées sur la déformation de l'espace des variables et sur la combinaison de plusieurs processus gaussiens stationnaires ont ensuite été comparées sur un cas test de fissuration d'un bimatériau (Figure 1). Il est apparu qu'une stratégie de modélisation par processus gaussien non stationnaires permet de reconstruire avec plus de précision la zone de fort gradient de la réponse.

.../...

Les développements futurs concernent d'abord la définition et la comparaison de plusieurs critères de planification d'expériences intégrant les approches précédentes. Puis, on cherchera à améliorer la modélisation par processus gaussiens non stationnaires en la couplant avec des méthodes en ondelettes issues du domaine du traitement d'images.

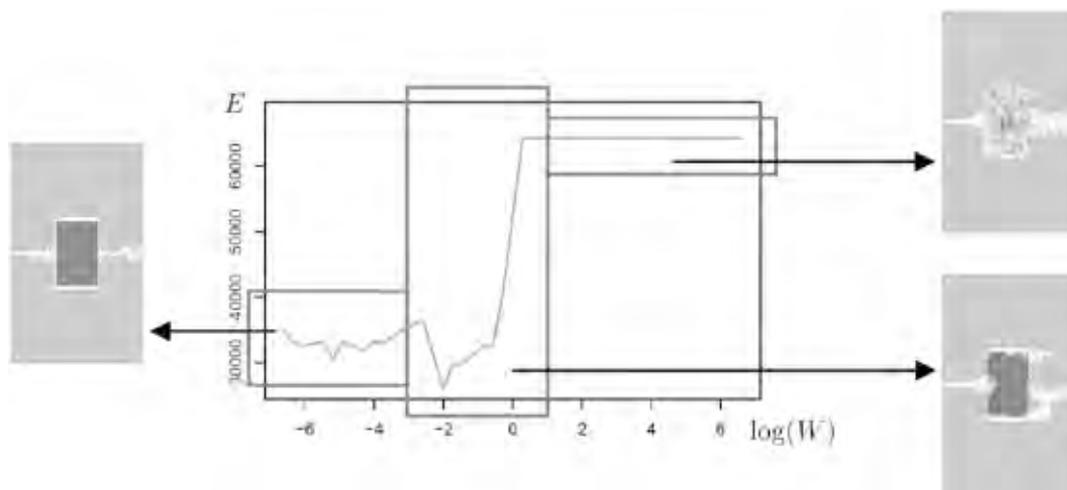


Figure 1: Exemple de cas d'étude de fissuration d'un bimatériau – Coupe de l'évolution de l'énergie de rupture (simulée par le logiciel Xper) en fonction d'un paramètre mécanique du matériau qui contrôle le mode de propagation de la fissure. Au centre, se trouve la région d'intérêt correspondant à une zone de transition entre deux modes de propagation.

Sujet de la thèse :**Étude de l'adsorption des iodes radioactifs (I_2 et ICH_3) par des adsorbants poreux dans différentes conditions de fonctionnement**

Doctorant :	Charlène MOULIN
Date du début de la thèse :	01/10/2014
Laboratoire :	Ecole des Mines de Nantes, GEPEA et IRSN/PSN-RES/SCA/LPMA
Financement de thèse :	Armines
Directeur de thèse :	Laurence Le Coq – Ecole des mines de Nantes
Tuteur de thèse :	Céline Monsanglant-Louvet
École doctorale :	SPIGA Nantes, Science pour l'ingénieur, Géosciences, Architecture

Depuis l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi en 2011, une attention accrue a été apportée à la rétention des substances radioactives susceptibles d'être rejetées dans l'environnement, notamment l'iode. Le projet ANR MiRE (Mitigation des Rejets à l'Environnement) a pour but d'évaluer l'efficacité des moyens de rétention mis en œuvre actuellement en France. Dans ce contexte, la thèse a pour objectif d'étudier de façon expérimentale et théorique le piégeage des iodes radioactifs (I_2 et ICH_3) sur des adsorbants commerciaux, principalement des charbons actifs pour les matériaux poreux, et du sable pour les systèmes des barrières ultimes, tous deux utilisés dans les circuits de filtration des réacteurs nucléaires français.

A ce stade, une bibliographie centrée sur les matériaux, sur les méthodes d'analyses de l'iode et sur les études existantes sur son piégeage est en cours d'élaboration. La caractérisation physico-chimique des matériaux est également en cours avec une détermination de la surface spécifique des charbons actifs. En parallèle, l'optimisation pour la mesure de l'iode et l'étalonnage de chromatographies en phase gazeuse et en phase liquide sont actuellement étudiés.

Par la suite, les mesures de la rétention de l'iode sur les différents supports s'effectueront dans des réacteurs fermés de grand volume. Le but est d'obtenir des données cinétiques ainsi que des isothermes d'adsorption. Les différents paramètres influençant la rétention, tels que la température, le vieillissement et l'humidité relative seront étudiés.

Ensuite, les essais consisteront à reproduire les expérimentations avec des molécules actives de façon à évaluer l'impact du marquage de l'iode sur sa rétention. Cette étape et l'étape suivante se dérouleront sur la plateforme expérimentale PERSEE à Saclay, actuellement en construction. La comparaison des différentes études sera effectuée de façon à comprendre les mécanismes fins de la rétention de l'iode radioactif et de les modéliser. L'objectif final est de trouver une corrélation entre les propriétés physico-chimiques des adsorbants et leur efficacité.

Sujet de la thèse :

**Évaluation de rejets moyen-terme en situation accidentelle grave
d'un Réacteur à Eau Pressurisée : étude expérimentale de la revaporisation
de dépôts de produits de fission (Cs, I)**

Doctorant :	Dorel OBADA
Date du début de la thèse :	01/11/2014
Laboratoire :	PSN-RES/SEREX/L2EC
Financement de thèse :	PIA MIRE (ANR-RSNR)
Directeur de thèse :	Laurent Gasnot – Université de Lille 1 - PC2A UMR 8522
Tuteur de thèse :	Anne-Cécile Grégoire
École doctorale :	Lille 1- École Doctorale Science de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement

Pour évaluer les conséquences radiologiques sur l'homme d'un rejet de matières radioactives dans l'environnement lors d'un accident grave de réacteur à eau pressurisée, l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire dispose d'outils de calculs permettant de simuler l'ensemble du déroulement d'un accident.

L'une des difficultés dans la mise en œuvre de ces outils est principalement le manque de données expérimentales relatives au phénomène de revaporisation de matières radioactives. La revaporisation depuis les surfaces contaminées du circuit primaire est en effet susceptible de contribuer à un rejet différé de matières radioactives, notamment pour l'iode, le césium et le ruthénium. Plusieurs facteurs pouvant potentiellement favoriser ce phénomène ont été identifiés, mais les données expérimentales actuellement disponibles sont souvent incomplètes ou obtenues dans des conditions peu représentatives d'une situation accidentelle.

Cette étude porte sur des essais à effets séparés de revaporisation ou de revolatilisation de dépôts d'iode et de césium sur des surfaces représentatives des matériaux présents au sein du circuit primaire (aciers inoxydables et alliages inconel). La première étape a consisté à générer des dépôts de CsI et CsOH représentatifs (Fig. 1) en prenant compte de l'état d'oxydation des aciers. Ces dépôts ont été caractérisés à l'aide de techniques d'analyse de surface comme l'XPS, ou l'EPMA. La revaporisation de ces dépôts a été étudiée par thermogravimétrie jusqu'à des températures de 1000°C et sous des atmosphères oxydante ou réductrice afin d'en suivre la cinétique de relâchement. Les premiers résultats semblent indiquer la revaporisation de plusieurs espèces. Des essais couplés à des techniques appropriées (spectroscopie optique, collecte des aérosols) permettront de déterminer plus précisément les espèces relâchées.

Ces données expérimentales sont comparées aux données disponibles dans la littérature afin de proposer une première modélisation de ce phénomène en prenant en compte explicitement les conditions de température et de pression du circuit primaire d'un réacteur à eau pressurisée en conditions d'accident grave, ainsi que les modifications chimiques de surface induites par les molécules de la phase gazeuse.

.../...

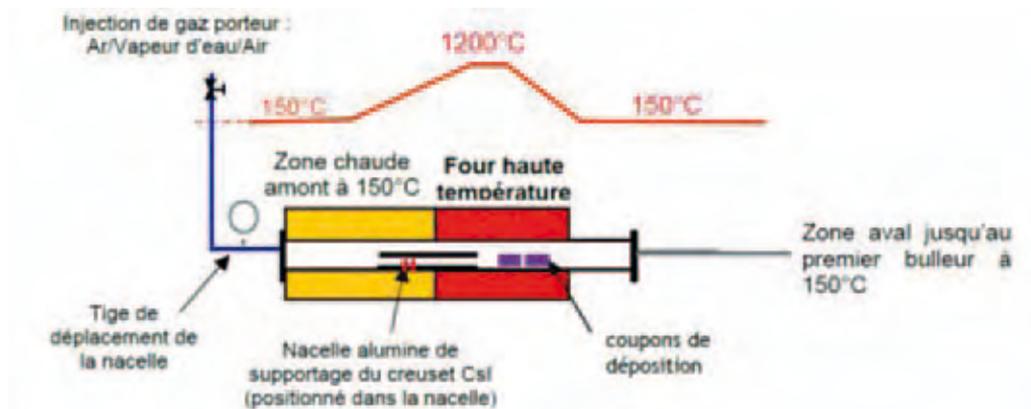


Figure 1. Schéma de principe de génération de dépôts à chaud.

Sujet du post-doctorat :

Corrélations spatiale et temporelle dans les simulations Monte-Carlo de systèmes neutroniques multiplicateurs : estimation des incertitudes réelles sur les flux locaux de neutrons

Post-doctorant :	Anthony ONILLON
Date du début du post-doctorat :	21/05/2014
Laboratoire :	PSN-EXP/SNC/LNC
Tuteur :	Joachim MISS & Isabelle DUHAMEL

Le Service de Neutronique et des risques de Criticité (SNC) travaille dans des cadres différents (cycle et réacteurs) sur la modélisation neutronique des systèmes nucléaires. Parmi les thèmes d'importance dans ce domaine figurent les méthodes de simulation Monte Carlo pour le traitement de la propagation des particules. C'est dans ce cadre que s'inscrivent les travaux de ce post-doctorat relatifs aux problématiques de convergence, de corrélations statistiques, d'incertitudes associées et de leur propagation. Une attention particulière est portée à ces difficultés de convergence numérique locales dans les calculs Monte Carlo, car elles peuvent conduire à des déviations significatives sur les grandeurs cibles, lorsque ceux-ci sont couplés à une autre physique, en particulier évolution du combustible et/ou thermohydraulique.

Les simulations de systèmes neutroniques multiplicateurs, c'est-à-dire contenant de la matière fissile, ont pour objectif d'étudier la propagation des neutrons dans la matière afin de calculer différentes grandeurs d'intérêts tels que le coefficient de multiplication effectif de neutrons, les distributions spatiales de puissance, de flux, ou encore de taux de réactions.

Dans ces systèmes, la source de neutrons n'est pas connue. La résolution du transport des neutrons par les codes Monte Carlo, qui consiste en la résolution de l'équation de Boltzmann, peut alors être effectuée grâce à une méthode d'itération de puissance par chaîne de Markov. La simulation est ainsi subdivisée en cycles, de sorte que partant d'une distribution spatiale et énergétique initiale des neutrons sources fixée par l'utilisateur, les neutrons sont propagés à travers le système ; la mort des neutrons par absorption, fission, capture ou fuite marquant la fin d'un cycle. La distribution spatiale des positions de mort des neutrons à la fin d'un cycle est alors utilisée lors de la génération des neutrons sources du cycle suivant. La première partie de ces cycles, dit « inactifs », a pour objectif d'assurer la convergence des neutrons (position et énergie) dans le système et seuls les cycles suivants, dit « actifs », sont utilisés pour le calcul des observables. Dans la plupart des codes Monte-Carlo, les cycles sont considérés comme indépendants et par conséquent, les observables calculées à chaque cycle actif sont estimées comme distribuées aléatoirement suivant des lois normales. Les valeurs moyennes de ces distributions constituent alors les résultats des observables et les incertitudes statistiques associées sont calculées comme : $E = \sigma_i / \sqrt{N}$ où σ_i est l'écart type

.../...

de la distribution considérée et N est le nombre de cycles actifs. Toutefois, une conséquence directe de la méthode d'itération de puissance est l'existence de corrélations temporelles des distributions spatiales des neutrons entre les cycles. La non-prise en compte de ces corrélations est alors responsable d'une importante sous-estimation des incertitudes statistiques des observables locales dans les codes Monte Carlo.

Dans ce poster, nous allons présenter les études réalisées afin de calculer les corrélations temporelles et spatiales sur les flux locaux de neutrons dans une simulation d'un crayon de REP de dimension réelle en milieu infini avec le code MORET. Les incertitudes statistiques associées à ces flux et calculées en prenant en compte les corrélations temporelles seront comparées à celles données en sortie du code et discutées.

Sujet de la thèse :**Mécanismes d'incorporation et de migration du Molybdène
dans le dioxyde d'uranium sur-stœchiométrique**

Doctorant :	Lola SARRASIN
Date du début de la thèse :	15/10/2014
Laboratoire :	IRSN/SAG/PSN-RES/LETR et IPNL-IN2P3-Université de Lyon/ Groupe aval du Cycle Electronucléaire
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Nathalie MONCOFFRE (Institut de Physique Nucléaire de Lyon, IPNL, IN2P3, Université de Lyon)
Tuteur de thèse :	Roland DUCHER
École doctorale :	Université Claude Bernard Lyon 1/ED 52 PHAST Physique et Astrophysique de Lyon

En cas de situation accidentelle dans un réacteur à eau sous pression, le relâchement de certains produits de fission (Ru, I, ...) peuvent contribuer fortement aux conséquences radiologiques et dosimétriques post-accidentelles et constitue donc une problématique particulièrement importante surtout depuis l'accident de Fukushima. Dans la perspective du développement ou de l'amélioration de modèles prédictifs pour le relâchement de ces espèces radiotoxiques, il importe de comprendre le mieux possible les mécanismes physiques mis en jeu. En particulier, le molybdène (Mo) impacte le relâchement de ces espèces en formant notamment des complexes métalliques ou des composés ternaires avec d'autres produits de fission dans le combustible UO_2 . Le comportement de Mo est très fortement lié à l'évolution du potentiel d'oxygène dans la matrice combustible ainsi qu'aux caractéristiques d'incorporation et de migration de Mo dans cette matrice qui peuvent être mises en évidence par des modélisations ab initio (type DFT) ou par dynamique moléculaire (DM), est la variation de la mobilité du Mo. L'objet de cette thèse est donc l'étude expérimentale et théorique des mécanismes d'incorporation et de diffusion de Mo dans la matrice UO_2 légèrement sur-stœchiométrique afin de déterminer le coefficient de diffusion thermique (et si possible athermique) de Mo. Le travail s'effectuera essentiellement par voie expérimentale sur des échantillons d' UO_2 implantés avec des ions Mo et il sera complété par des calculs de structure électronique (DFT) et des simulations en dynamique moléculaire classique ou accélérée en température.

Durant cette première année de thèse, la phase expérimentale a débuté par l'élaboration d'échantillons d' UO_{2+x} de stœchiométrie contrôlée à $UO_{2,1}$. Cette étape est en cours de réalisation en collaboration avec l'Ecole des Mines de St-Etienne, en utilisant un four ATG, fonctionnant en atmosphère et température contrôlées. Des analyses par diffraction de RX permettent de contrôler les phases formées (en particulier U_4O_9). Par la suite, des ions Mo seront implantés auprès de l'implanteur IMIO 400 de l'IPNL, à faible concentration (de l'ordre du pourcent atomique). Les profils de concentration du Mo implanté seront obtenus

.../...

Sujet de la thèse :

Investigation of the operational behaviour of a passive auto-catalytic recombiner under the extreme accident conditions inside the ITER fusion facility

Doctorant :	Paul-Martin STEFFEN
Date du début de la thèse :	01/04/2014
Laboratoire :	Forschungszentrum Juelich, Germany
Financement de thèse :	Forschungszentrum Juelich, Germany and IRSN, France
Directeur de thèse :	Univ.-Prof. Dr. Rer. Nat. Hans-Josef Allelein, LRST, RWTH University, Aachen, Germany
Tuteur de thèse :	Dr.-Ing Ernst-Arndt Reinecke (Germany) Dr. Nicolas Meynet (France)
École doctorale :	RWTH Aachen University, Germany

In case of a severe accident inside the ITER fusion facility, there are several scenarios in which hydrogen may be produced and released into the suppression tank. The possibility of air ingress may result in the formation of flammable gas mixtures and explosions, which may lead to severe component failure. As a consequence, counter measures need to be taken. One option is the installation of passive auto-catalytic recombiners (PAR), which are currently used for hydrogen mitigation in the field of nuclear fission reactors. PARs convert hydrogen into water vapour by means of passive mechanisms and thereby help to avoid large accumulations of combustible gases. In cooperation with IRSN, Forschungszentrum Jülich (Germany) and RWTH Aachen University (Germany), the functionality of PARs under fusion reactor conditions is investigated.

The overall goal of the PhD work is to assess the efficiency and functionality of PARs under the specific conditions of a fusion reactor accident. For the corresponding simulation, enhanced models are required which take into account the specific boundary conditions.



Figure 1: REKO-4 facility

For this purpose, experimental investigations of PAR operation are performed. The specific conditions include low pressure, oxygen starvation, superposed flow conditions and low temperature. For the experimental work, a scaled model of a conventional PAR will be investigated inside the REKO-4 facility (Forschungszentrum Jülich), a pressure vessel with 5,3 m³ and operational pressures between -1 to 2 bar(g). For numerical analyses, the codes SPARK (IRSN) and REKO-DIREKT (Jülich), which describe the operational behaviour of PARs, will be enhanced and validated according to the experimental results. Finally, the simulation of accident scenarios with Ansys CFX will be performed to assess the efficiency and functionality of PARs under the extreme accident conditions inside ITER.

Sujet de la thèse :**Écoulement diphasique dans un milieu à porosité évolutive**

Doctorant :	Ali SWAIDAN
Date du début de la thèse :	13/10/2014
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/LEPC
Financement de thèse :	Cofinancement EDF
Directeur de thèse :	Michel QUINTARD – IMFT Toulouse
Tuteur de thèse :	Florian FICHOT
Ecole doctorale :	SDU2E - INP Toulouse

Severe accidents arising from the fusion of the nuclear reactor core must be anticipated to enhance the efficiency of its mitigation. Such accidents have occurred at TMI-2 in the USA-1979, Chernobyl-1984 and in Fukushima, Japan-2011 where 3 reactors were destroyed.

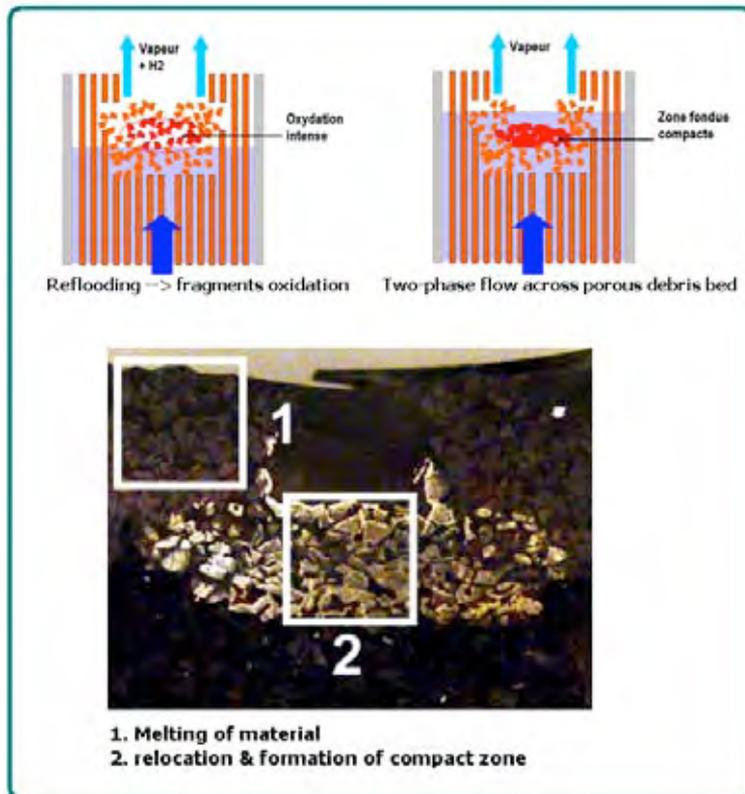
Following a loss of coolant accident, the reactor core gets uncovered and starts to accumulate residual heat. As the accident evolves, core heating and oxidation of the fuel cladding by the coolant vapor provoke core degradation. In this case, injection of water into the core (reflooding) to remove the residual heat is vital for stopping the progressive degradation and saving the core from melting down.

Reflooding can cause a thermal shock and the embrittlement of the cladding, hence forming a porous debris bed in the core. The arrival of steam that is generated by cooling the lower zones may activate the oxidation of Zircaloy at high temperature zones, the reaction is very exothermic and leads to partial melting of materials. Those molten materials tend to move within the porous medium and thus reducing the porosity in the accumulation zones and increasing it in the zones from which they migrate. Due to this heterogeneity and the varying degrees of degradation, the coolant flow becomes multidimensional.

This is a multiphase system including 4 phases: gas, liquid (water), liquid (molten material) and solid particles constituting the porous debris bed. The first initiative was to establish the Mass, Energy and Species conservation equations in a form that accounts for porosity evolution and the chemical reaction (Zircaloy oxidation). Averaging techniques are applied to get the volume-averaged form of the governing equations, followed by considering several assumptions to simplify these equations.

This should integrate with future initiatives into improving the previously developed model in order to deal with local geometrical modifications consequent to partial melting of the porous medium, and include a refined structure of the medium as the two-phase flow is very sensitive to the evolution of this structure. This model would either be integrated into the ICARE/CATHARE code – a tool developed by IRSN for core degradation studies – or into a stand-alone code. The models developed in this thesis will be used by IRSN to improve the ASTEC code (IRSN's reference code for simulating core meltdown accidents).

.../...



LISTE DES PARTICIPANTS ET INDEX DES PRÉSENTATIONS

Adrien ABBATE	IRSN/PSN - RES/SEMIA	161 - 162
Christelle ADAM	IRSN/PRP - ENV/SERIS	
Jocelyne AIGUEPERSE	IRSN/PRP - HOM	
David ALIBERT	IRSN/PSN - RES/SA2I	163 - 164
Youssef ALILOU	IRSN/PSN - RES/SCA	165 - 166
Frederic ALONZO	IRSN/PRP - ENV/SERIS	
Lhassan AMARSID	IRSN/PSN - RES/SEMIA	41
Christelle ANTONELLI	IRSN/PRP - ENV/SESURE	
Jack ARAYRO	IRSN/PSN - RES/SEMIA	60 - 61
Laurent AUDOUIN	IRSN/PSN - RES/SA2I	
Pascale AUSSILLOUS	Université d'Aix - Marseille	
Bruno AUTRUSSON	IRSN/DSDP/SPS	
Marc BABUT	IRSTEA	
Jean BACCOU	IRSN/PSN - RES/SEMIA	
Gauzelin BARBIER	IRSN/DSDP/SPS	
Marc BARRACHIN	IRSN/PSN - RES/SAG	
Jean BATTISTON	IRSN/PSN - RES	
Nicolas BAUDIN	IRSN/PSN - RES/SEMIA	38 - 39
Karine BEAUGELIN	IRSN PRP - ENV	
Nadia BENABDALLAH	IRSN/PRP - HOM/SDI	136
Nadia BENALLAL	Bertin Technologies	
Ahmed BENTAIB	IRSN/PSN - RES	
Jean - Marc BERTHO	IRSN/PRP - HOM/SRBE	
Wattrisse BERTRAND	Université de Montpellier 2	
Lionel BICHET	IRSN/PSN - RES/SEMIA	58
Olivier BILDSTEIN	CEA - Cadarache	
Anthony BONFRATE	IRSN/PRP - HOM/SDE	116 - 117
Bernard BONIN	CEA Saclay	
Jean - François BOTTOLLIER	IRSN/PRP - HOM/SDE	
Laurent BOUILLLOUX	IRSN/PSN - RES/SCA	
Denis BOULAUD	IRSN/PRP - ENV	
Beatrice BOULET	IRSN/PRP - ENV	
Thierry BOURGOIS	IRSN/DSDP/SPS	
Philippe BOURRACHOT	IRSN/PSN - RES	
Patrick BOYER	IRSN/PRP - ENV/SERIS	12
Justo CABRERA	IRSN/PRP - DGE/SRTG	
Laurent CANTREL	IRSN/PSN - RES/SAG	
Sarah CARMINATI	IRSN/PSN - SRDS/SFOHR	20 - 21
Philippe CASSETTE	CEA Saclay	
Sebastian CASTRILLON ESCOBAR	IRSN/PSN - RES/SAG	76 - 77
Aryadeep CHAKRABORTY	IRSN/PSN - RES/SAG	167
Olivier CHANTON	IRSN/PSN - SRDS/SFOHREX	
Alain CHAPEL	IRSN/PRP - HOM/SRBE	
Nabiha CHAUMEIX	CNRS Orléans	
Elodie CHAUVET	IRSN/PSN - RES/SEREX	168
Mohamed Amine CHERIF	IRSN/PRP - ENV/SERIS	95 - 96
Karine CHEVALIER - JABET	IRSN/PSN - RES	
Rémi CLAVIER	IRSN/PSN - RES/SEREX	74 - 75
Juliette COLOMBANI	IRSN/PSN - RES/SEREX	
Christelle COURBET	IRSN/PRP - DGE/SRTG	
Mickaël COUTIN	IRSN/PSN - RES/SA2I	
Alicia CUVIER	IRSN/PRP - ENV/SESURE	14 - 15
Miriam D'AMICO	IRSN/PSN - RES/SA2I	50 - 51

Alexandre DAUZERES	IRSN/PRP - DGE/SRTG	
Camille DE LA TAILLE	IRSN/PRP - DGE/SCAN	128 - 129
Audrey DE SANTIS	UMAPS Communication	
Anne DE VISMES	IRSN/ PRP - ENV/STEME	
Alexandre DECRETON	IRSN/PSN - RES/SAG	98 - 99
Eric DELAUME	IRSN/PSN - RES/SEMIA	169 - 170
Elise DELAUAUD	IRSN/PRP - DGE/SCA N	
Hugues DELORME	EAMEA	
Aurélie DESBREE	IRSN PRP - HOM/SDI	
Jean DESQUINES	IRSN/PSN - RES/SEREX	
Céline DINOCOURT	IRSN/DSDP/SPS	
Frédéric DUBOIS	Université de Montpellier 2	
Brigitte DUBOIS	IRSN/DSDP/SPS	
Cécile DUBOIS	IRSN/PRP - ENV/SERIS	137 - 138
Roland DUBOURG	IRSN/PSN - RES/SAG	
Roland DUCHER	IRSN/PSN - RES/SAG	
Loic DUCROS	IRSN/PRP - ENV/SESURE	139 - 140
Yvan EB - LEVADOUX	IRSN/PRP - ENV/SERIS	31 - 32
Jean - Michel EVRARD	IRSN/PSN - RES	
Jérémy EYDIEUX	IRSN/PSN - SRDS/SFOHR	24
Frédérique EYROLLE	IRSN/PRP - ENV	
Jad FARAH	IRSN/PRP - HOM/SDE	
Helene FAYE	IRSN/PSN - SRDS/SFOHREX	
Laura FERRY	IRSN/PSN - RES/SAG	171 - 172
Laureline FEVRIER	IRSN/PRP - ENV	
Florian FICHOT	IRSN/PSN - RES/SAG	
Magali FLORIANI	IRSN/PRP - ENV/SERIS	
Lucie FOURNIER	IRSN/PRP - HOM/SRBE	143
Sandrine FRELON	IRSN/PRP - ENV/SERIS	
Simon GALAS	Université de Montpellier 2	
Nicolas GARLAND	IRSN/PSN - EXP/SNC	173 - 174
Jacqueline GARNIER - LAPLACE	IRSN/PRP - ENV/SERIS	
Laurent GASNOT	Université de Lille I	
Thomas GELAIN	IRSN/PSN - RES/SCA	
Céline GELIS	IRSN/PRP - DGE/SCAN	
Laure GENIES	IRSN/PRP - ENV/SERIS	70 - 71
Rodolphe GILBIN	IRSN/PRP - ENV/SERIS	
Marc GLEIZES	IRSN/PRP - ENV/STEME	
Frédéric GOLDSCHMIDT	IRSN/DSDP/SPIIC	
Kewin GOMBEAU	IRSN/PRP - ENV/SERIS	27 - 28
Christophe GONZALES	Université Pierre et Marie Curie (Paris VI)	
Ange GOURBIL	IRSN/PSN - RES/SAG	42 - 43
Anne - Cécile GREGOIRE	IRSN/PSN - RES/SEREX	
Romain GROSSEUVRES	IRSN/PSN - RES/SAG	175
Sophie GROUSSET	IRSN/PRP - DGE/SRTG	93 - 94
Olivier GUIPAUD	IRSN/PRP - HOM/SRBE	
Rodolfo GURRIARAN	IRSN/PRP - ENV/STEME	
Isabelle GUYOT	IRSN/DSDP/SPIIC	
Azza HABIBI	IRSN/PRP - ENV/STEME	119 - 120
Xavier HALLER	IRSN/PSN - RES/SEMIA	44 - 45
Pascale HENNER	IRSN/PRP - ENV/SERIS	
Houssam HIJAZI	IRSN/PSN - RES/SAG	176 - 177
Sabine HOFFMANN	IRSN/PRP - HOM/SRBE	144 - 145
Levent ISBILIROGLU	IRSN/PRP - DGE/SCAN	146 - 147

Jacques JABBOUR	IRSN/PSN - EXP/SES	178
Ankita JADON	IRSN/PSN - RES/SAG	179
Cyprien JAILLET	IRSN/PRP - HOM/SRBE	84 - 85
Hervé JOMARD	IRSN/PRP - DGE/SCAN	
Ahmed KACEM	IRSN/PSN - RES/SA2I	102 - 103
Salima KAISSOUN	IRSN/PSN - RES/SCA	180 - 181
Jean - Claude LABORDE	IRSN/PSN - RES	
Philippines LALAN	IRSN/PRP - DGE/SRTG	92
Patrick LALOI	IRSN/DSDP/SPS	
Maria LANCIERI	IRSN/PRP - DGE/SCAN	
Jean - Claude LATCHE	IRSN/PSN - RES/SA2I	
Jérémy LAVIGNE	IRSN/PRP - HOM/SRBE	148 - 149
Thomas LE DEZ	IRSN/PSN - RES/SCA	54 - 55
Séverine LE DIZÈS - MAUREL	IRSN/PRP - ENV/SERIS	
Antoine LE GUERNIC	IRSN/PRP - ENV/SERIS	66 - 67
Dominique LE GULUDEC	IRSN	
Catherine LECOMTE - PRADINES	IRSN/PRP - ENV/SERIS	
Marie LEGRAND	IRSN/PRP - HOM/SRBE	69
Flavien LEMOINE	IRSN/PRP - DGE/SRTG	
Notwenn LESPARRE	IRSN	90 - 91
Philippe LESTAEVEL	IRSN	
Florent Louis	Université de Lille I	
Ahmed MABROUK	IRSN/PSN - RES/SAG	104
Tarik MADANI	IRSN/PSN - RES/SEMIA	59
Donovan MAIRE	IRSN/PRP - HOM/SDE	123 - 124
Mickael MANGEON	IRSN/PSN - SRDS/SFOHR	182
Sandrine MARANO	IRSN/DSDP	
Nuno José MARCELLINO	INVIDEO	
Sébastien MARMIN	IRSN/PSN - RES/SEMIA	183 - 184
Denis MARO	IRSN/PRP - ENV/SERIS	
Loic MARTIN	IRSN/PRP - DGE/SRTG	150
Arnaud MARTIN - GARIN	IRSN/PRP - ENV/SERIS	
Olivier MASSON	IRSN/PRP - ENV/SESURE	
Jean - Michel METIVIER	IRSN/PRP - ENV/SERIS	
Sylvain MEYLAN	IRSN/PRP - HOM/SDE	118
Nicolas MEYNET	IRSN/PSN - RES	
Nathalie MICHIELSEN	IRSN/PSN - RES	
Fabien MILLIAT	IRSN/PRP - HOM/SRBE	
Elodie MINTET	IRSN/PRP - HOM/SRBE	82 - 83
Faoulat MIRADJI	IRSN/PSN - RES/SAG	78 - 79
Joachim MISS	IRSN/PSN - EXP/SNC	
Agustín MOLINERO GUERRA	IRSN/PRP - DGE/SRTG	151 - 152
Nathalie MONCOFFRE	IN2P3 Lyon	
Céline MONSANGLANT - LOUVET	IRSN/PSN - RES/SCA	
Charlène MOULIN	IRSN/PSN - RES/SCA	185
Stefania MUSILLI	IRSN/PRP - HOM/SRBE	68
Georges NAHAS	IRSN/PSN - EXP/SES	
Philippe NERISSON	IRSN/PSN - RES/SCA	
Huong liên NGUYEN	IRSN/PRP - DGE/SRTG	16 - 17
Valérie NICOULAUD	IRSN/PRP - ENV/SERIS	
Valérie NOLLET	Université de Lille I	
Dorel OBADA	IRSN/PSN - RES/SEREX	186 - 187
Anthony ONILLON	IRSN/PSN - EXP/SNC	188 - 189
Elif ORAL	IRSN/PRP - DGE/SCAN	130 - 131

François PAQUET	IRSN/DSDP/SPS	
Hugues PARADIS	IRSN/PRP - ENV/STEME	121 - 122
Florian PARISOT	IRSN/PRP - ENV/SERIS	29 - 30
Céline PELISSOU	IRSN/PSN - RES/SEMIA	
Geoffrey PELLERIN	IRSN/PRP - ENV/SERIS	153 - 154
Frédéric PERALES	IRSN/ PSN - RES/SEMIA	
Vincent PERRON	IRSN/PRP - DGE/SCAN	132 - 133
Yves PIPON	Institut de Physique Nucléaire de Lyon	
Yannick PIZZO	CEREN	
Bernard PORTERIE	Université d'Aix Marseille	
Laurent POURCELOT	IRSN/PRP - ENV/SESURE	
Corinne PREVOST	IRSN/PSN - RES/SCA	
Francois REBIERE	IRSN/PRP - HOM/SDI	
Hugo RENARD	IRSN/PRP - ENV/SERIS	155
Jacques REPUSSARD	IRSN	
Fabienne RIBEIRO	IRSN/ PSN - RES/SEMIA	
Jean - Marc RICAUD	IRSN/PSN - RES/SA2I	
Isabelle RICHARD	IRSN	
Jerome RICHARD	IRSN/PSN - RES/SCA	
Anthony RONDEAU	IRSN/PSN - RES/SCA	48 - 49
Véronique ROUYER	IRSN/DSDP	
Pierre RUYER	IRSN/ PSN - RES/SEMIA	
Benoit SABOT	IRSN/PSN - RES/SCA	125 - 126
Jean - Christophe SABROUX	IRSN/PSN - RES/SCA	
Lola SARRASIN	IRSN/PSN - RES/SAG	190 - 191
Matthieu SCHULER	IRSN/DSDP	
Ahmedou SIDI	IRSN/PSN - RES/SEREX	62 - 63
Marie SIMON - CORNU	IRSN // PRP - ENV/SERIS	
Caroline SIMONUCCI	IRSN/PRP - DGE/SRTG	
Paul - Martin STEFFEN	Forschungszentrum Jülich	192
Sylvain SUARD	IRSN/PSN - RES/SA2I	
Ali SWAIDAN	IRSN/PSN - RES/SAG	193 - 194
Mouhamadou SY	IRSN/PRP - ENV/SERIS	13
Christian TAMPONNET	IRSN	
Jackie TAV	IRSN/PRP - ENV/SESURE	156
Sylvie THELLIER	IRSN/PSN - SRDS/SFOHR	22 - 23
Nicolas THERME	IRSN/PSN - RES/SA2I	52 - 53
Elodie TORRES	IRSN/PSN - RES/SEREX	36 - 37
Pierre TOULHOAT	INERIS	
Guy TREGLIA	CINAM - CNRS Marseille	
Marie TRIJAU	PRP - ENV/SERIS	157 - 158
Julien TRINCAL	IRSN/PSN - RES/SAG	105 - 106
Benoit USUNIER	IRSN/PRP - HOM/SRBE	86 - 87
Kevin VARRALL	IRSN/PSN - RES/SA2	100 - 1011
Aurélie VAURIJOUX	IRSN/PRP - HOM/SRBE	26
Alain VAVASSEUR	CEA Cadarache	
Emmanuel VIAU	INVIDEO	
Caroline VIGNAUD	IRSN/PRP - ENV/STEME	
Carmen VILLAGRASA	IRSN/PRP - HOM/SDE	
Pierre - Guy VINCENT	IRSN/ PSN - RES/SEMIA	
François VIROT	IRSN/PSN - RES/SAG	
Catherine YU	IRSN/PRP - DGE/SRTG	159 - 160
Sergey ZHIVIN	IRSN/PRP - HOM/SRBE	33
Yixian ZHOU	IRSN/PSN - RES/SEMIA	40

LISTE DES SERVICES D'APPARTENANCE DES DOCTORANTS
ET POST - DOCTORANTS PRÉSENTS

PSN : Pôle Sureté nucléaire

PSN - RES : Thématique *Recherche en sûreté*

PSN - RES/SEREX : Service d'Etude et de Recherche Expérimentale

PSN - RES/SAG : Service des Accidents Graves

PSN - RES/SCA : Service du Confinement et de l'Aérodispersion des polluants

PSN - RES/SA2I : Service des Agressions Internes et des risques Industriels

PSN - RES/SEMIA : Service de Maîtrise des Incidents et Accidents

PSN - EXP : Thématique *Expertise de sûreté*

PSN - EXP/SNC : Service de Neutronique et des risques de Criticité

PSN - EXP/SES : Service d'Expertise des équipements et des Structures

PSN - SRDS : Thématique *Systèmes, nouveaux réacteurs et démarches de Sûreté*

PSN - SRDS/SFOHREX : Service des Facteurs Organisationnels et Humains
et du Retour d'Expérience

PRP : Pôle Radioprotection, environnement, déchets et crise

PRP - HOM : Thématique *Protection de l'Homme*

PRP - HOM/SRBE : Service de RadioBiologie et d'Epidémiologie

PRP - HOM/SDE : Service de Dosimétrie Externe

PRP - HOM/SDI : Service de Dosimétrie Interne

PRP - ENV : Thématique *Environnement*

PRP - ENV/SERIS : Service de recherche et d'Expertise sur les Risques
environnementaux

PRP - ENV/SESURE : Service d'Etude et de SURveillance de la Radioactivité
dans l'Environnement

PRP - ENV/STEME : Service de Traitement des Echantillons et de Métrologie
pour l'Environnement

PRP - DGE : Thématique *Déchets et Géosphère*

PRP - DGE/SRTG : Service de Recherche sur les Transferts dans la Géosphère

PRP - DGE/SCAN : Service de Caractérisation des sites et des Aléas Naturels

*Les Journées thèses sont organisées par la Direction de la stratégie, du développement
et des partenariats (DSDP).*



IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Siège social

31, avenue de la Division Leclerc
92260 - Fontenay-aux-Roses
RCS Nanterre 546 018

Site internet

www.irsn.fr

Référence : DSDP/SPS 2015-00078