

# RECUEIL DES POSTERS SCIENTIFIQUES

Mai 2019





## POSTERS SCIENTIFIQUES

Sous l'égide du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES), la quatrième édition des Assises Nationales des Risques Naturels (ANRN) s'est tenue les **25 et 26 mars 2019** à Montpellier.

Ces assises réunissent tous les acteurs de la prévention des risques naturels (collectivités territoriales, services de l'État, professionnels de la gestion des risques, scientifiques, représentants de la société civile, etc.) pour échanger et débattre sur l'état de la situation et les perspectives de réduction des catastrophes. Les ANRN doivent permettre une meilleure appropriation des actions relatives aux risques naturels par l'ensemble des parties prenantes et une plus grande efficacité des démarches collectives de réduction des risques et d'adaptation des territoires pour une société résiliente.

Les ANRN sont aussi l'occasion de contribuer au développement d'une culture commune du risque en mutualisant les connaissances des différents acteurs intervenant dans les domaines concernés par la prévention et la gestion des risques naturels, services de l'État, élus, associations et ONG, organismes d'assurance, chercheurs, bureaux d'études, tous sont appelés à se mobiliser pour ces journées de rencontres et d'échanges, en particulier les collectivités et leurs élus, acteurs de la mise en place de la politique de prévention à l'échelle de leurs territoires.

Dans ce cadre, le monde scientifique a un rôle particulier pour le développement de la recherche et de la connaissance, pour donner des éléments d'éclairage et de choix pour l'action de tous dans ce domaine.

### ***Une présentation de posters scientifiques pour promouvoir et développer les interactions entre la recherche et les autres acteurs impliqués***

Un appel à posters a été organisé afin d'illustrer et de faciliter l'interaction entre travaux de recherche d'une part, décisions et pratiques de gestion en matière de risques naturels d'autre part, et plus précisément afin de permettre des temps d'interaction entre scientifiques et autres acteurs.

Les posters sélectionnés par le Conseil Scientifique des ANRN ont été exposés tout au long des Assises, et des temps d'interaction avec les auteurs des posters ont été proposés aux participants aux Assises.

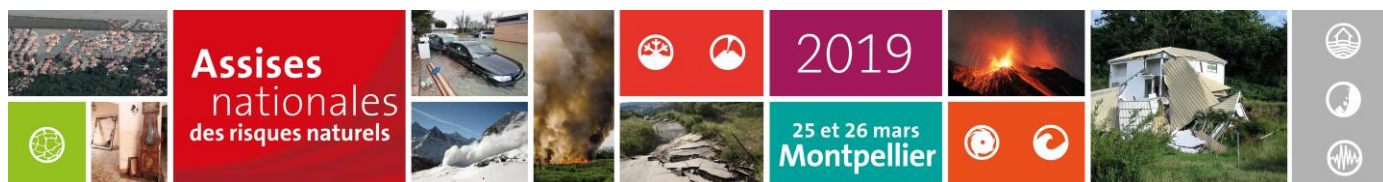
Les posters ont présenté des travaux de recherche en cours et/ou des résultats scientifiques, ou encore des démarches innovantes de gestion des risques naturels, utilisables par des acteurs et décideurs "opérationnels", ou ayant plus généralement vocation à appuyer leurs actions dans un horizon de temps proche. Ils ont concerné les thématiques abordées pendant les Assises (tables rondes et ateliers)<sup>1</sup>, ainsi que de façon plus générale les politiques et les pratiques de réduction et de gestion des risques naturels.

La maquette imposée pour la mise en forme des posters avait vocation à permettre un réel échange entre les scientifiques auteurs des posters et les autres participants aux Assises, scientifiques ou non, notamment les élus. Leur reproduction dans les pages qui suivent, accompagnée d'un résumé incluant les coordonnées des auteurs, a vocation de permettre de prolonger ces échanges voire de susciter de nouveaux contacts et, souhaitons-le, de motiver des collaborations et des partenariats fructueux.

Pour le Conseil Scientifique  
Didier RICHARD

---

<sup>1</sup> « Adaptation des territoires pour une société résiliente », « Une implication de tous les acteurs dans la prévention des risques naturels », « Synergies aménagement, prévention des inondations et gestion des milieux aquatiques », « Vulnérabilité et résilience des bâtiments », « Se préparer à la gestion du post-événement », « Attractivité touristique et risques naturels », « Les nouvelles technologies », « Place des acteurs économiques dans la prévention des risques naturels »



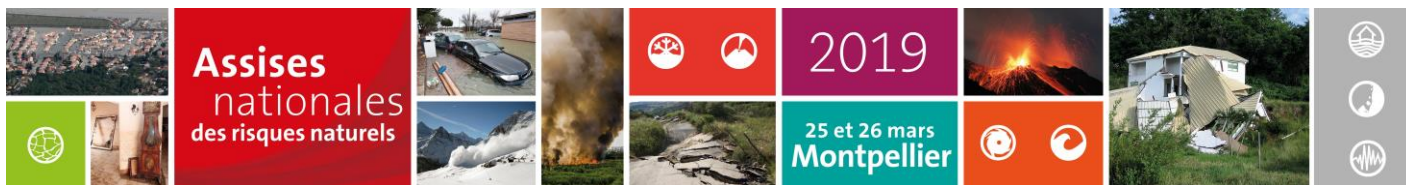
# CONSEIL SCIENTIFIQUE

## Président :

RICHARD	Didier	Irstea
---------	--------	--------

## Membres :

AUCLAIR	Samuel	BRGM
BECK	Elise	Université Grenoble Alpes
BERGER	Amandine	Waves'n See
BOSSU	Rémy	CEA / CSEM
DEVÈS	Maud	IPGP
DIDIER	Christophe	INERIS
DOUVINET	Johnny	UMR Espace
GARNIER	Philippe	UGA-ENSAG
GAUME	Eric	IFSSTAR
GHIOTTI	Stéphane	Université Montpellier 3
JANET	Bruno	SCHAPI
JOUANNIC	Gwenaël	Cerema
MEERPOEL	Matthieu	UCL
PIGEON	Patrick	USMB
PROVITOLO	Damienne	GeoAzur
REGHEZZA	Magali	LGP
REY	Freddy	Irstea
ROZAN	Anne	ENGEEES
SAUVAGET	Patrick	Artelia
SCHMITT	Laurent	Université Strasbourg
VINET	Freddy	Université Montpellier 3



# LISTE DES POSTERS

# Session Posters Scientifiques

Auteurs	Titre du poster
CARLADOUS S., QUEFFÉLÉAN Y., PITON G., FAVIER P., MARCO O., TACNET J.-M.	<b>Adaptation de la gestion des inondations aux spécificités des crues torrentielles</b> <i>Perspectives générales sur les travaux en cours</i>
AZEMARD P., CLEMENT F., DORE L., HAUSSARD S., HUSSON E., NOURY G., RESPAUD C., VEDIE E.	<b>Aléa mouvements de terrain liés aux cavités karstiques</b> <i>Caractériser les processus pour réduire la vulnérabilité des territoires</i>
RICHERT C., GRELOT F., DOULBEAU A.	<b>Analyse coût-bénéfice de mesures d'adaptation individuelle aux inondations</b> <i>Le cas des mesures des PPRI du bassin versant de l'Argens</i>
BUQUET P., CHRISTIN F., DEBAR P., MONTANE A.	<b>Analyse intégrée de détermination de l'aléa ruissellement</b> <i>Une plus-value pour la gestion de cet aléa longtemps sous-estimé</i>
LE SOMMER M.	<b>Appréhension du ruissellement pluvial urbain</b> <i>Approche technique mutualisée sur le bassin de la Loire et ses affluents</i>
CHERKAOUI A., RENAUD V., WATELET J.-M., GOMBERT P., KREZIAK C.	<b>Approche innovante d'un suivi hydrogéotechnique de la carrière souterraine de Château Landon</b> <i>Expertise, acquisition 3D, modélisation numérique et auscultation</i>
TACNET J.-M., PITON G., PHILIPPE F., GOUHRAND A., VASSAS C.	<b>Approche intégrée d'aide à la décision dans le contexte de la GEMAPI</b> <i>Application aux projets d'aménagement</i>
LEGENDRE Y., NACHBAUR A., GRELLIER E., MOISAN M.	<b>Caractérisation du risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines</b> <i>Application sur la zone des 50 pas géométriques de Guadeloupe</i>
DESMAZES F., GARCIN M., METEREAU V., GOUGUET L.	<b>Caractérisation par drones des phénomènes d'érosion éolienne des dunes du littoral Atlantique</b> <i>Exemples d'applications pour le littoral Atlantique</i>



Auteurs	Titre du poster
BALOUIN Y., DE LA TORRE Y., LECACHEUX S., PEDREROS R., LAZURE P., GAYOT M., AUMONT O., CATRY T., PIVARD S., VILLAROEL-LAMB D., DOODNATH L., CHARDRON P., MAXAM A., GIRVAN A. et al	<b>CARIB-COAST -</b> <i>Réseau caribéen de prévention des risques côtiers en lien avec le changement climatique</i>
BOUVIER C., CAZENAVE F., CHAHINIAN N., FOWE T., GOSSET M.	<b>Cartographie à fine résolution spatiale des crues dans une agglomération urbaine</b> <i>Application à la ville de Ouagadougou, Burkina-Faso</i>
ERDLENBRUCH K., GARCIA S., HAFIDI H., MBARGA D.	<b>Choix de résidence des ménages et information sur les inondations</b> <i>Un cas d'étude sur l'arc méditerranéen français</i>
PIATYSZEK E., TARDY A., AYRAL P.-A., BONY-DANDRIEUX A., BOUILLET P., FREALLE N., TENA-CHOLLET F., TIXIER J. SAUVAGNARGUES S., BERTON C., FORTIN J., CHARNY F., COLENSON P.	<b>CIT'IN CRISE</b> <i>Dispositif de formation des citoyens au risque inondation et à la gestion de crise</i>
AUCLAIR S., ETTINGER S.	<b>Comment garder la mémoire des catastrophes naturelles ?</b> <i>Préconisations pour la mise en place de marqueurs mémoriels de risques naturels</i>
MARTIN B., GIACONA F., HAZIZA E., FROMEYER P.	<b>Communication et information pour favoriser l'acceptation des PPR inondations</b> <i>Cas des PPRI du département du Bas-Rhin</i>
DE LA TORRE Y., VITTECOQ B., MOMPÉLAT J.-M., WINTER T., LECACHEUX S.	<b>Crise cyclonique de septembre 2017 aux Antilles</b> <i>Appui à la gestion de crise et à la prévention des risques</i>
PERHERIN C., GUILLEVIC G., POIRIE H., CAZAUBON A.	<b>CRISI</b> <i>Un outil numérique de collecte d'informations suite à une inondation</i>
VILLARD N., OLMEDO I., ROBIT P., LAMBERT S., SCHMITT M.	<b>Crues torrentielles, embâcles et bois flottant</b> <i>Protection par un barrage souple en filets de câbles</i>
PRADIGNAC F., SHORT A., ARDOIN C., IABLONOVSKI G.	<b>Déchets post-aléa climatique</b> <i>Quantifier et cartographier pour mieux gérer</i>



Auteurs	Titre du poster
COLIN R., GALTIER E.	<b>Des outils didactiques de sensibilisation au risque inondation sur le bassin de la Loire et ses affluents</b>
JACOB T., PANNET P., HANNION Y., BEAUBOIS F.	<b>Détection de cavités souterraines en milieu urbain par microgravimétrie</b> <i>Apport et nécessité des corrections anthropiques (bâti, caves...)</i>
BUSSON P., MIZZI M.	<b>Développer la culture du risque inondation en suscitant des projets innovants</b> Premier bilan de l'appel à projets lancé par le Plan Rhône 2018-2019
DEWEZ T., GUERIN V., THIERY Y., LAPERCHE V., MASSON F., DE LARY L., PRADEL B., ASSENBAUM M., DE BOISVILLIERS M., FAURE O., PARAN F.	<b>Drone ou ULM ? Lidar ou photogrammétrie ?</b> <i>Quelles technologies pour le suivi opérationnel d'anciens sites industriels ?</i>
BACOU M., FELTS D., FOULON G.	<b>Du PARI (industriel) au PARI (inondation)</b> <i>L'accompagnement des démarches de réduction de la vulnérabilité à l'inondation</i>
IDIER D., PARIS F., LE COZANNET G., BOULAHYA F., DUMAS F.	<b>Effet de la remontée du niveau marin sur la marée</b> <i>Cas du plateau nord-ouest européen</i>
FERRER L., CURT C., TACNET J.-M., LINDENMANN A., ARNAUD A.	<b>Efficacité de l'information préventive sur les risques majeurs destinée au Grand Public</b> Le cas du DICRIM
BOUSEBATA M., GIRARD S., ENJOLRAS G.	<b>Estimation bayésienne des mesures de risques naturels extrêmes</b> <i>Application à l'assurance du risque agricole</i>
MORIN S., DUMONT M., HAGENMULLER P., KARBOU F., LAFAYSSSE M., VERNAY M., GOUTTEVIN I., ECKERT N., EVIN G., DESCHATRES M., COLEOU C.	<b>État de l'art scientifique et prospective pour la prévision du risque d'avalanches en France</b>
DER SARKISSIAN R., ZANINETTI J.-M., ABDALLAH C.	<b>Évaluation de la résilience des infrastructures critiques face aux risques naturels</b> <i>Approche prédictive axée sur le réseau routier de Baalbek-Hermel (Liban)</i>





Auteurs	Titre du poster
CURT C., DI MAIOLO P., SCHLEYER-LINDEMANN A., TRICOT A., CURT T., ARNAUD A.	<b>Évaluation de la soutenabilité des mesures de gestion du risque</b> <i>Application aux risques inondation, submersion marine et incendie de forêt</i>
REY J., ILTIAZ A., MONFORT D., TINARD P., ONFROY T.	<b>Évaluation de l'impact des séismes en France</b> <i>Aléa - Vulnérabilité - Coût à charge du régime Cat Nat</i>
ALJARF A., JUDEK C., DUVAL C., LANNOY A.	<b>Évaluation du niveau de risque d'une installation industrielle</b> <i>Traitement des évènements internes et des agressions naturelles extrêmes</i>
BOPP E., DOUVINET J., SERRE D.	<b>Faire un tri dans le monde des applis d'alerte</b> <i>Expérimentation sur 50 applis smartphones dédiées à l'alerte en France</i>
VILLARD N., OLMEDO I., ROBIT P., BOURRIER F., ALMERAS B.	<b>Génie biologique &amp; éboulements</b> <i>Filets de protection intégrés au couvert forestier</i>
TOKI R.	<b>Gérer les risques majeurs avec les citoyens</b> <i>Cas de la commune de Nantes (France) et de la commune de Lomé (Togo)</i>
COLAS B., REY A., LEVY C., ROHMER J.	<b>GERISBLOC</b> <i>Gestion du risque de chute de blocs impactant les routes</i>
RIVET F., IASIO C., BOURRIER F., MERESSE P., DE SAINT-GERMAIN R.	<b>Gestion des risques du patrimoine culturel : Projet Interreg Alpin Space CHEERS</b> <i>Présentation du projet et activités prévues</i>
MATHIEU SOUBIAS H., CLARAC R., MARGUIER J.-L., ESTRUEL C., LHOMME D.	<b>HYDROPORTAL 3D (HP3D) Plateforme 3D de géo-information -</b> <i>Gestion des ressources en eau - Gestion du risque hydroclimatique</i>
CHANUT M.-A., DUBOIS L., DURANTHON J.-P., RUL G.	<b>Imagerie et mouvements de terrain</b> <i>Qualifier et quantifier</i>



Auteurs	Titre du poster
COLMET DAAGE A., LLOVEL C., BORRELL-ESTUPINA V., SANCHEZ-GOMEZ E., RICCI S., SERVAT E.	<b>Impact du changement climatique sur les crues de l'Orbieu</b> <i>Futurisation des crues à partir des modèles climatiques CORDEX</i>
RINAUDO J.-D., REY A., RITTER A., DAVID D., BABY F.	<b>Impact économique des zones rouges des PPR</b> <i>Étude de l'impact des zones rouges des PPR sur les transactions immobilières</i>
GRIMAL D.	<b>Indices de danger feux de forêt Sud-Ouest</b> <i>Méthodologie canadienne adaptée au massif des Landes de Gascogne</i>
MASSON F., GRUNBERG M., SCHINDELE F., LAMBOTTE S., MAZET-ROUX G., HERNANDEZ B., SIRA C., AUCLAIR S., SCHLUPP A., BERTIL D., MAZZOTTI S., JOMARD H.	<b>L'Action Transverse Sismicité RESIF (ATS)</b> <i>Mieux connaître et comprendre la sismicité et l'aléa sismique en France</i>
LECOMTE A., CHARMOILLE A., KREZIAK C.	<b>La dissolution naturelle du gypse</b> <i>Évaluation et gestion du risque mouvements de terrain</i>
GRANDJEAN G., BERNARDIE S., THOMAS L., MALET J.-P., PUISSANT A., HOUET T., FORT M., BOURRIER F.	<b>La plateforme SAMCO : évaluer les impacts du changement global en montagne</b> <i>Un web-service pour étudier les scénarios de risques gravitaires</i>
TOURMENT R., BEULLAC B., PATOUILLARD S., QUEFFÉLÉAN Y.	<b>L'analyse de risque des systèmes endigués</b> <i>Une aide à la décision pour les collectivités en charge de la compétence GEMAPI</i>
MARCOT N., MIRGON C., AMITRANO M.	<b>Le Programme Intégré Thématique (PITEM) sur les risques naturels sur le territoire Alpin ALCOTRA</b> <i>Un programme d'action sur la communication et la gestion des risques naturels</i>
JOURDAN D., PARADIS D., PASQUET A., CASITAS S., OHL P., BARAILLE R., MICHAUD H., DALPHINET A., AOUF L., BISCARA L.	<b>Le projet Homonim</b> <i>Quelles contributions à la prévision des submersions marines ?</i>
MARCOT N., PORTAL A., THIEBAUD E.	<b>Les spécificités de la gestion du risque lié à la dissolution du gypse en région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA)</b>



Auteurs	Titre du poster
EINHORN B., BERGER F., JARJAYE J., CREVOLIN A., CARTIER-MOULIN O., PEISSER C.	<b>Les Territoires Alpins de Gestion Intégrée des Risques Naturels (TAGIRN)</b> <i>Boîte à outils pour la résilience et l'adaptation au changement climatique</i>
BELLET A., BARBERO R., BOUILLON C., ESTEVE R., GANTEAUME A., GUERRA F., JAPPIOT M., MAILLE E., MORGE D., TRAVAGLINI C.	<b>L'évaluation du risque d'incendie de forêt dans les interfaces forêt-urbains</b> <i>Nouveaux outils et nouvelles approches</i>
PALVADEAU E., BOSSENEC G., SIBERT V., BALOUIN Y., LANZELLOTTI P.	<b>Levé photogrammétrique « post-tempête » par autogire</b> <i>Analyse des impacts et paramètres de vulnérabilité du trait de côte</i>
BECK E., AMALRIC M., BECU N., ANSELME B., BERTIN X., DELAY E., LONG N., MARILLEAU N., PIGNON-MUSSAUD C., ROUSSEAUX F.	<b>LittoSIM : Gérez le risque de submersion !</b> <i>Un dispositif participatif de sensibilisation à la gestion du risque de submersion</i>
ROBINET A., IDIER D., LE COZANNET G., CASTELLE B.	<b>LX-shore : modèle d'évolution du trait de côte</b> <i>applicable aux littoraux sableux dominés par l'action des vagues</i>
DARRAS T., ARTIGUE G., VAYSSADE B., JOHANNET A., KONG-A-SIOU L., PISTRE S., BERTIN D.	<b>Modèles d'ensemble pour la prévision hydrologiques par réseaux de neurones</b> <i>Prévision des crues éclair du Gardon d'Anduze (Gard, France)</i>
BOMPÉRIN L., CHENEVIÈRE N., BELIN T.	<b>Outil cartographique d'interprétation des conséquences potentielles d'une inondation</b> <i>dans le cadre de la mission de Référent Départemental Inondation (RDI)</i>
LECACHEUX S., PARIS F., ROHMER J., PEDREROS R., SAUVAGNARGUES S., AYRAL P.-A., TENA-CHOLLET F., BONNARDOT F., QUETELARD H.	<b>Outil d'aide à la décision communal pour la gestion des submersions marines</b> <i>Plan d'intervention gradué submersion - Sainte-Suzanne (La Réunion)</i>
JOFFROY T., RAKOTONIRINA H., DAUDEVILLE L., SIEFFERT Y., MOLES O., BELINGA NKO'O C., DOULINE A., GARNIER P.	<b>Pertinence de la recherche dans les projets de (re) construction post désastre</b> <i>Le cas d'Haïti après le séisme de 2010</i>
AUCLAIR S., OUARET R., BOULAHYA F., QUIQUE R., BIRREGAH B., SOULIER E., PERRIER P., BENAICHOUCHE A.	<b>Plateforme SURICATE-Nat pour l'analyse automatique de Twitter</b> <i>Des citoyens capteurs en cas de catastrophe naturelle</i>



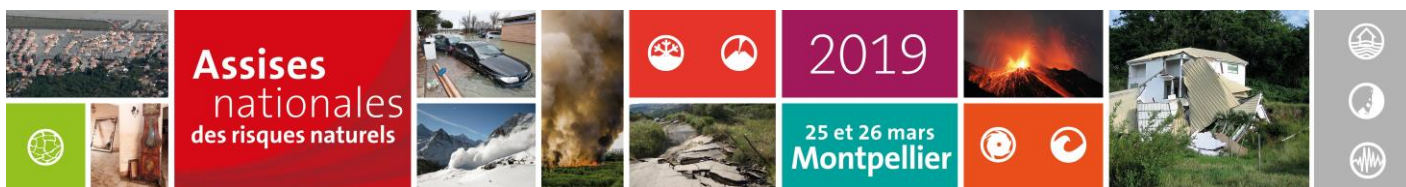
Auteurs	Titre du poster
POULARD C., LEBLOIS E., FAURE J.-B., ROYER Q.	<b>« Pluies de projet de bassin » : oui, mais...</b> <i>Un outil pour les construire... en attendant d'autres approches</i>
DAVI D., DELGADO J.-L., LAROCHE C., CORFDIR P., LLOP L.	<b>Ponts en site affouillable</b> <i>Un nouveau guide dédié à l'analyse de risque appliquée aux ouvrages d'art</i>
CHARLIER J.-B., PINSON S., NARBAÏS D.	<b>Premiers développements d'une cartographie des zones ruisselantes sur bassins karstiques</b> <i>Spatialisation d'indicateur de ruissellement en contexte méditerranéen</i>
GRABENSTAETTER L., VANDROMME R., LANDEMAINE V., SAMYN K., GENTNER R., SIRY L.	<b>Prévention et gestion du risque lié aux coulées d'eaux boueuses</b> <i>Évaluation du risque et mise en place d'une stratégie de gestion</i>
LOVAT A., VINCENDON B., DUCROCQ V., CAU P., EECKMAN J., JAUFFRET C., MERLET N.	<b>Prévision des crues rapides méditerranéennes</b> <i>Prévision d'ensemble à très courte échéance</i>
MARCOT N., BERNARDIE S., AMITRANO M., DROUILLAS Y., LEBOURG T.	<b>Projet AD-VITAM</b> <i>Vulnérabilité des territoires alpins méditerranéens aux risques naturels</i>
LAGANIER E., GENTRIC J., MIZZI M.	<b>Réduire la vulnérabilité des exploitations agricoles aux inondations</b> <i>Une démarche opérationnelle dans le cadre du Plan Rhône</i>
VERMEERSCH P., COLIN M., MAS J., FILATREAU J.	<b>Résilience du Grand Port Maritime de Bordeaux face au changement climatique</b> <i>Analyse des risques et stratégie d'adaptation</i>
GNONLONFIN A., DOUAI A., FAVIER P., PITON G., TACNET J.-M.	<b>Risque d'inondations et Solutions Fondées sur la Nature (SFN)</b> <i>Une évaluation intégrée des bénéfices dans le bassin de la Brague (06)</i>
BERGER F., BARRE J.-C., DUPIRE S., TOE D. et al.	<b>ROCKtheALPS : Les forêts de montagne sont des Rock stars !</b> <i>Des outils pour la valorisation du service de protection des écosystèmes forestiers</i>



Auteurs	Titre du poster
PATAULT E., LEDUN J., LANDEMAINE V., SOULIGNAC A., FOURNIER M., RINAUDO J.-D., CERDAN O., OUVRY J.-F., LAIGNEL B.	<b>Ruissellement, érosion des sols, et turbidité aux captages d'AEP</b> <i>Évaluation de l'efficacité des politiques publiques</i>
ADAM C., TAILLANDIER F.	<b>SPRITE : un jeu sérieux pour enseigner la gestion des risques naturels</b> <i>Risque de submersion marine sur l'île d'Oléron</i>
PAQUIER A., POULARD C., ROYER Q.	<b>Un outil de cartographie des crues extrêmes</b> <i>Comment délimiter rapidement les zones inondées le long des rivières</i>
LECLERC B., BARRAQUET-PORTE F., HEDOU F., VIALLE R., LANFUMEY V., MENGY L.	<b>Valorisation des données historiques pour la connaissance des risques côtiers en Afrique de l'Ouest</b> <i>Projet WACA-F</i>
FLEURY P., MARECHAL J.-C.	<b>Vers un outil pour la vigilance des crues karstiques en contexte méditerranéen</b> <i>Application au bassin de l'Agly (Aude, Pyrénées-Orientales)</i>
PERHERIN C.	<b>Vers une meilleure appropriation des cartes d'aléas...</b> <i>...et une meilleure efficacité des PPRL</i>
MOATTY A., GRANCHER D., VIRMOUX C., CAVERO J.	<b>Victimes, acteurs et témoins : les adolescents à Saint-Martin après Irma</b> <i>Alimenter les RETEX post-événement par les récits d'adolescents</i>
JAAFARI C., LANGLADE T., GRANGE S., BERTRAND D., DELHOMME F.	<b>Vulnérabilité physique des structures face aux risques naturels</b> <i>Viellissement des structures - Analyse de risque</i>
ARNAUD A., CLAEYS C., MARCOT N., FAURE-VASSAL G.	<b>Vulnérabilités littorales et justice environnementale</b> <i>Analyse interdisciplinaire et comparaison interterritoriale</i>
MAILLE E., BARBERO R., BACOU M., MARCOT N.	<b>WUI-Net</b> <i>Réseau international sur le risque d'incendie aux interfaces forêt-urbain</i>







# LES POSTERS\*

(et leurs résumés)

---

\* Classés par ordre alphabétique de leur titre, en référence à la liste des pages précédentes

# **Adaptation de la gestion des inondations aux spécificités des crues torrentielles**

Simon CARLADOUS<sup>1</sup>, Yann QUEFFÉLÉAN<sup>1</sup>, Guillaume PITON<sup>2</sup>, Philomène FAVIER<sup>2</sup>,  
Olivier MARCO<sup>1</sup>, Jean-Marc TACNET<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Office National des Forêts, (ONF)-DRN, Grenoble, France ([simon.carladous@onf.fr](mailto:simon.carladous@onf.fr), [yann.queffelean@onf.fr](mailto:yann.queffelean@onf.fr))

<sup>2</sup> Univ. Grenoble Alpes, IRSTEA, ETNA Research Unit, Grenoble, France

Selon la Directive Européenne 2007/60/CE, les crues des cours d'eau torrentiels de montagne (torrents, rivières torrentielles) relèvent des inondations. Ces cours d'eau sont caractérisés par des pentes élevées et une capacité d'endommagement accrue par leur tendance à éroder et déposer des matériaux solides. Pour des pentes supérieures à 1%-1,5 %, les spécificités du domaine torrentiel, notamment le transport solide, doivent systématiquement être prises en compte. Dans le cas des crues torrentielles, le transport solide se manifeste sous forme de charriage ou de laves torrentielles. Pour lutter contre ces phénomènes, des mesures de protection active, comme les ouvrages de correction torrentielle, et passive, comme les plages de dépôt ou les digues, peuvent être mises en œuvre.

Depuis 2017, des évolutions réglementaires ont impacté la gestion des ouvrages de protection contre les inondations : sur les ouvrages hydrauliques (décret du 11/12/2007, « décret digues » du 12/05/2015, arrêté du 07/04/2017), sur les compétences et moyens pour assurer la Gemapi (loi MAPTAM du 27/01/2014, loi du 30/12/2017). En parallèle, le développement des guides techniques sur l'analyse multicritère se poursuit. Ces textes ont été rédigés principalement pour les inondations fluviales. Dans un cadre opérationnel, l'adaptation aux crues torrentielles est problématique et repose sur la prise en compte de leurs spécificités : transport solide, incertitudes sur le comportement physique, influence amont-aval des mesures de protection.

Des groupes de travail nationaux spécifiques aux cours d'eau torrentiels ont été créés par le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, pour l'élaboration du guide d'élaboration du Plan de Prévention des Risques et du guide d'aide à l'analyse multicritère, ou à l'initiative de l'association France Dignes pour l'adaptation des études de danger. L'ONF-RTM et l'Irstea y sont impliqués. En parallèle, la mise en application opérationnelle s'appuie sur des études menées par les acteurs locaux.

Ces efforts d'adaptation ont permis de révéler plusieurs limites et perspectives. En premier exemple, le système d'endiguement peut intégrer différents types d'ouvrages d'amont en aval, leur bon fonctionnement étant interdépendant. En second, l'approche probabiliste de définition du niveau de protection pour les études de danger est souvent qualitative. En troisième lieu, il a été étudié les possibilités de développement de courbes d'endommagement spécifiques aux crues torrentielles à partir de celles développées dans le contexte fluvial.

Cette contribution vise à donner une perspective générale sur les spécificités des phénomènes torrentiels, sur la gestion des risques liés et sur les travaux en cours dans ce domaine.



# Adaptation de la gestion des inondations aux spécificités des crues torrentielles

## Perspectives générales sur les travaux en cours

Simon CARLADOUS<sup>1</sup>, Yann QUEFFÉLÉAN<sup>1</sup>,  
Guillaume PITON<sup>2</sup>, Philomène FAVIER<sup>2</sup>,  
Olivier MARCO<sup>1</sup>, Jean-Marc TACNET<sup>2</sup>  
[simon.carladous@onf.fr](mailto:simon.carladous@onf.fr) [yann.queffelean@onf.fr](mailto:yann.queffelean@onf.fr)

<sup>1</sup>Office National des Forêts, Département Risques Naturels,  
Restauration des Terrains en Montagne (ONF/DRN/RTM)

<sup>2</sup>Univ. Grenoble Alpes, Irstea, UR ETNA



**Problématique opérationnelle :** Les crues des cours d'eau torrentiels de montagne relèvent des inondations mais ont d'autres effets que la submersion (e.g., dépôts de matériaux, forte érosion, soudaineté et violence des crues). L'application des textes réglementaires et guides pour la gestion des inondations nécessite des adaptations pour en tenir compte.

### Spécificités torrentielles : aléa et ouvrages

L'extension spatiale des **événements torrentiels** est partiellement aléatoire. Le transport solide y est responsable de **processus d'endommagement** multiples. L'effet des **ouvrages de protection** « actifs » sur les systèmes aval, le fonctionnement des ouvrages « passifs » et le **niveau de protection** associé sont réels, mais difficiles à quantifier. Des alternatives à l'usage de **probabilités** quantitatives sont étudiées par des approches par **scénarios d'évènements**.

### Quelques résultats récents

L'**analyse pluridisciplinaire** (historique, géomorphologique, modélisation et limites) de l'**aléa** torrentiel est formalisée<sup>a)</sup>. L'**adaptation des courbes d'endommagement** selon les différents processus est en cours<sup>b)</sup>.

Les **fonctions** potentielles des **ouvrages** sont précisées<sup>b)</sup>. Les **modes de défaillance** des digues torrentielles et plages de dépôt sont recensés et leurs conséquences potentielles analysées. L'usage des probabilités qualitatives est proposé<sup>a)</sup>.

### Adaptation des modalités et guides d'application

Ces travaux visent à aider les services de l'Etat, collectivités et bureaux d'études devant appliquer les textes et guides établis pour les inondations au domaine torrentiel grâce :

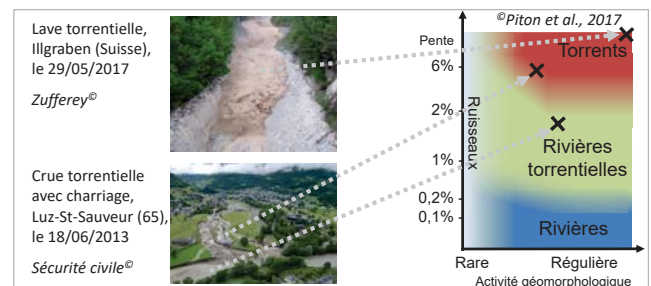
- au **lien** établi avec le **guide PPR**, en cours de validation<sup>c)</sup> ;
- à l'appui à la définition des **systèmes d'endiguement** ;
- à l'adaptation des **études de danger**, analyses de risque<sup>a)</sup>, **visites de suivi** et **diagnostic** des ouvrages de protection ;
- aux travaux sur le guide d'**analyse multicritères**<sup>b-c)</sup>.

#### Pour en savoir plus :

<sup>a)</sup>Quefféléan et al. (2019). Spécificités des systèmes d'endiguement et de l'analyse de risque en contexte torrentiel. *Conf. Dignes Maritime et Fluviales de Protection contre les Inondations*.

<sup>b)</sup>Favier et al. (2018). Analyse comparative des méthodes dites « multicritères » dans le contexte du risque torrentiel. *Rapport de Phase 2 : Méthodologies d'évaluation des dommages*.

<sup>c)</sup>Piton et al. (2018). Analyse comparative des méthodes dites « multicritères » dans le contexte du risque torrentiel. *Rapport de phase 1 : Caractérisation des phénomènes torrentiels*.



Facteurs aggravant, sources d'incertitudes



Processus d'endommagement avec dommages non-structuraux\* et structuraux\*

Exemple de construction de courbes d'endommagement



Ouvrages torrentiels : typologie et fonctions



Digues torrentielles : modes de défaillance les plus fréquents<sup>a)</sup>

Assise Nationale des Risques Naturels 2019, Montpellier - 25 et 26 mars 2019  
Poster scientifique

## **Aléa mouvements de terrain lié aux cavités karstiques : mieux caractériser les processus souterrains pour réduire la vulnérabilité des territoires exposés**

*P. Azemard\**, *F. Clément\*\**, *L. Dore\*\*\**, *S. Haussard\*\*\*\**, *E. Husson°*, *G. Noury°*, *C. Respaud\*\**, *E. Védie\*\**

°BRGM

Direction Risques et Prévention (DRP)  
3 av. Claude-Guillemin - BP 36009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France  
**Référent BRGM :** [g.noury@brgm.fr](mailto:g.noury@brgm.fr)

\*Cerema Méditerranée

Laboratoire d'Aix-en-Provence - Service Géologie et Risques Naturels  
Pôle d'activités Les Milles - avenue Albert Einstein - CS 70499 - 13593 Aix-En-Provence Cedex 3

\*\* Cerema Sud-Ouest

Département Laboratoire de Bordeaux - Groupe Géotechnique/Géologie Appliquées aux Infrastructures et Aménagements  
24, rue carton - CS 41635, 33073 Bordeaux Cedex  
**Référent Cerema :** [emeric.vedie@cerema.fr](mailto:emeric.vedie@cerema.fr)

\*\*\* Cerema Normandie-Centre

LRPC de BLOIS – Groupe Environnement et Risques  
11,rue Laplace CS2912 - 41029 BLOIS

\*\*\*\* Cerema Centre-Est

Département Laboratoire d'Autun - Groupe Ouvrages d'Art-Géotechnique-Risques  
Boulevard Giberstein - BP 141 - 71405 Autun Cedex

Environ 40 % de la métropole est concerné par des formations géologiques carbonatées plus ou moins karstifiées (réseau de cavités et altération des roches) et donc sensibles à des instabilités de surface. Les effondrements étudiés aussi bien par le Cerema que par le BRGM ont parfois des conséquences tragiques (risques humains et matériels). Etant donné les difficultés à comprendre, à prévoir et à spatialiser les phénomènes en jeu, la prédisposition des territoires à ces mouvements de terrain a été jusqu'à présent évaluée de manière locale, sans méthode unifiée et sans réelle possibilité de prédiction. Les pratiques établies pour traiter d'autres types d'aléa, tels que ceux générés par la chute de blocs, les carrières souterraines abandonnées, ou, plus récemment les versants rocheux sous-cavés, ont confirmé l'intérêt des donneurs d'ordre pour des outils lisibles, à la portée des bureaux d'études et pouvant fournir des résultats reproductibles si besoin.

Sous l'égide de la DGPR, une collaboration entre le BRGM et le Cerema est actuellement menée afin d'aboutir à un guide méthodologique d'évaluation de l'aléa mouvements de terrain liés au karst calcaire (le karst de la craie n'est pour l'instant pas inclus dans ce guide et les karsts des évaporites sont en partie traités par ailleurs). L'objectif est de pouvoir élaborer des cartographies à l'échelle de l'aménagement communal. Pour cela, des réflexions scientifiques et méthodologiques sont donc réalisées aussi bien à l'échelle nationale que locale pour améliorer à la fois (i) l'identification et la caractérisation des processus souterrains à l'origine des mouvements de terrain en surface d'origine karstique et (ii) la prise en compte des aléas associés pour réduire la vulnérabilité des enjeux au sein des territoires concernés. Les retours d'expériences et les connaissances scientifiques disponibles motivent l'utilisation d'une méthode multicritère, consistant à évaluer géographiquement l'influence des critères à l'origine des processus de déstabilisation (histoire géologique, nature des matériaux, circulations d'eau, etc.). Dans cette approche, les interactions hydrodynamiques entre la surface et le vide sous-jacent sont identifiées comme les critères prépondérants à l'apparition des mouvements de terrain.

Ce prochain guide doit permettre d'orienter les décisions des aménageurs, aussi bien pour les biens existants que pour ceux projetés. En connaissant la prédisposition d'un secteur à un processus donné, des recommandations ciblées peuvent ainsi être proposées pour limiter les facteurs intervenant dans le déclenchement des instabilités et ainsi réduire la vulnérabilité des territoires.

# Aléa mouvements de terrain liés aux cavités karstiques

Caractériser les processus pour réduire la vulnérabilité des territoires



P. Azemard\*, F. Clément\*, L. Dore\*, S. Haussard\*,  
E. Husson°, G. Noury°, C. Respaud\*, E. Védie\*

° BRGM – référent : [g.noury@brgm.fr](mailto:g.noury@brgm.fr)  
\* Cerema – référent : [emeric.vedie@cerema.fr](mailto:emeric.vedie@cerema.fr)



**Vers un guide méthodologique pour évaluer et cartographier l'aléa mouvements de terrain liés aux cavités karstiques** : Sous l'égide de la DGPR, ce guide est en cours d'élaboration par le BRGM et le CEREMA (édition prévue pour 2020).

## Un aléa nécessitant une adaptation des pratiques.

40 % de la métropole est concerné par des formations géologiques carbonatées karstifiées, plus ou moins instables, générant parfois des mouvements de terrain dommageables. Les réflexions du BRGM et du CEREMA ont consisté à confronter les pratiques, puis à recenser les configurations et les processus d'instabilité, et enfin à conceptualiser une approche qui soit à la fois prédictive, mais aussi robuste et lisible.

## Le choix d'une méthode multicritère...

Le travail actuel s'intéresse aux formations calcaires. Il pourra être décliné ultérieurement au contexte karstique de la craie. La méthode multicritère proposée traite les différents processus de déstabilisation (rupture mécanique, soutirage, etc.), en analysant pour chacun d'eux les paramètres les influençant (histoire géologique, nature des matériaux, circulations d'eau, etc.). S'inspirant des autres guides relatifs aux aléas gravitaires, des explications pédagogiques introduisent la problématique.

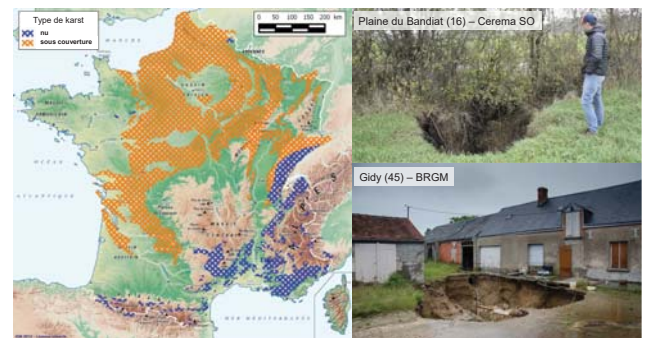
## ... valable au niveau national.

La méthode sera valable au niveau national, à l'échelle communale ou pluri-communale. Elle permettra d'orienter les choix et les réflexions aussi bien des bureaux d'études que des donneurs d'ordre. Elle a déjà été mise en application, en guise de test mais aussi pour des commandes spécifiques. Des réglages sont encore en cours, ils devraient être finalisés pour 2019 en vue d'une édition d'un guide en 2020.

Pour en savoir plus :

[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr) et [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

Plan National Cavité / Actions PRECAS & Cavités souterraines (MTES/DGPR)

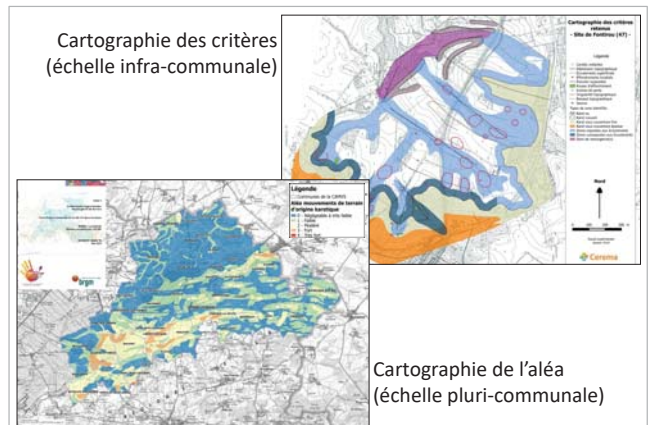


Les zones karstifiées en métropole

Effondrements karstiques

		Etape 3 : Caractérisation des critères influant les mouvements de terrain liés aux cavités d'origine karstique				Etape 4-1 : Evaluation multicritère de la probabilité d'occurrence									
						Déclinaisons des observations en probabilité									
						Niveau résurgence		Niveau		Soutirage		Sédiments		Autres	
						Niveau résurgence		Niveau		Soutirage		Sédiments		Autres	
Usage	Cultures (arboriculture)	Présence de cultures de grande culture	Autre usage	Indice	Indice (0-100)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200
		Présence de cultures de grande culture	Autre usage	Indice	Indice (0-100)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200
Couverture karstifiée	Couverture karstifiée	Présence de cavités	Indice	Indice (0-100)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
		Présence de cavités	Indice	Indice (0-100)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
Hydrogéologie	Hydrogéologie	Présence de la nappe	Indice	Indice (0-100)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
		Présence de la nappe	Indice	Indice (0-100)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
Hydrogéologie	Hydrogéologie	Présence de la nappe	Indice	Indice (0-100)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	
		Présence de la nappe	Indice	Indice (0-100)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	

Processus et critères pris en compte – BRGM, CEREMA



Applications : Fontirou – CEREMA (47) et Agglo Maubeuge – BRGM (59)

**Titre :** Analyse coût-bénéfice de mesures de réduction de la vulnérabilité des logements mentionnées dans les Plans de Prévention des Risques d'inondation du bassin versant de l'Argens

**Auteurs :** Claire Richert<sup>1</sup>, Frédéric Grelot<sup>1</sup>

**Affiliation :** <sup>1</sup> : IRSTEA, UMR G-eau, Montpellier

**Contact :** Claire Richert (claire.richert@irstea.fr)

Un aléa inondation présente un risque s'il existe des enjeux qui y sont exposés et vulnérables. Pour limiter un risque d'inondation, il est donc possible de cibler soit l'aléa, soit le nombre d'enjeux qui y sont exposés, soit leur vulnérabilité. D'une part, les ouvrages de protection contre les inondations visent à réduire leur probabilité. D'autre part, des politiques de zonage, des systèmes d'alerte, des aides d'urgence, ainsi que des systèmes d'assurance peuvent être mis en place pour diminuer le nombre d'enjeux exposés aux inondations ou leur vulnérabilité à ces risques. Alors qu'il est courant d'évaluer l'efficacité des ouvrages de protection dans le but d'éclairer la décision publique en matière de gestion des inondations, peu de travaux s'intéressent à l'évaluation des coûts et de l'efficacité des politiques visant à limiter l'exposition ou la vulnérabilité aux inondations.

Nous avons contribué à combler cette lacune en étudiant les Plans de Prévention des Risques d'inondation (PPRi). Ces documents de zonage délimitent notamment des zones dans lesquelles des stratégies de réduction de la vulnérabilité des logements sont obligatoires ou recommandées. Ainsi, nous avons réalisé une analyse coût-bénéfice de 4 stratégies mentionnées dans les PPRi du bassin versant de l'Argens : une qui consiste à empêcher l'eau d'entrer dans le logement, une qui consiste à utiliser des matériaux adaptés pour la construction du logement, une qui combine les deux stratégies précédentes, et une qui consiste à interdire les nouvelles constructions dans certaines zones.

Pour réaliser l'analyse coût-bénéfice, nous avons d'abord construit des fonctions de dommages évités et de coût d'installation relatives à chaque stratégie. Pour ce faire, nous avons utilisé un modèle informatique construit à partir d'entretiens avec des experts en construction et d'assurance. Ensuite, des bases de données existantes nous ont permis de localiser les logements concernés par chaque stratégie et d'estimer la hauteur d'eau qui les affecterait lors de crues de différentes périodes de retour. Nous avons croisé les fonctions de dommages évités et de coût d'installation avec ces informations pour estimer la Valeur Actuelle Nette de chaque stratégie pour chaque logement.

D'après notre étude, la stratégie qui consiste à empêcher l'eau d'entrer n'est efficace que pour les logements exposés à des inondations fréquentes (période de retour de 50 ans ou moins) et il semble efficace d'utiliser des matériaux adaptés aux inondations dans les nouveaux logements car ils sont souvent moins coûteux que ceux employés d'habitude dans les nouvelles constructions en France.

# Analyse coût-bénéfice de mesures d'adaptation individuelle aux inondations

## Le cas des mesures des PPRI du bassin versant de l'Argens

Claire Richert  
Frédéric Grelot  
Aurore Doubeau  
[Claire.richert@irstea.fr](mailto:Claire.richert@irstea.fr)

UMR G-EAU, IRSTEA  
Université de Montpellier  
MTES



### Problématique opérationnelle, question posée :

Quel intérêt présente la démarche d'analyse coût-bénéfice (ACB) pour évaluer des Plans de Prévention des Risques d'inondation (PPRI) ?

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Les PPRI peuvent conseiller ou prescrire des mesures de réduction de la vulnérabilité des logements. Quels enseignements l'ACB peut-elle apporter quant à l'efficacité économique de ces mesures ? Pour traiter cette question, nous nous sommes concentrés sur les mesures mentionnées dans les PPRI du bassin versant de l'Argens et avons combiné des outils de modélisation informatique et des données spatiales.

### Résultats

- 1) Dans les PPRI étudiés, 55 mesures concernent les logements. Nous avons pu réaliser une ACB pour 4 d'entre elles (cf Fig 3).
- 2) La mesure « résister » n'est pas efficace pour tous les logements pour lesquels elle est préconisée. Notamment, elle n'est pas efficace pour les logements exposés à des inondations peu fréquentes (période de retour minimum > 50 ans).
- 3) Il est moins coûteux de construire des logements en utilisant des matériaux adaptés aux inondations qu'en employant les matériaux habituellement utilisés en France.

### Applications

Notre étude propose une méthode pour évaluer les mesures de réduction de la vulnérabilité des logements. Cette méthode pourrait être mobilisée :

- lors de l'élaboration des PPRI pour identifier des zones dans lesquelles il serait pertinent de recommander certaines mesures,
- mais aussi a posteriori, pour vérifier l'adéquation entre les mesures préconisées et recommandées par des PPRI existants et le niveau d'exposition des enjeux.

#### Pour en savoir plus :

Claire Richert, Frédéric Grelot, Aurore Doubeau. Evaluation économique des PPRI du bassin versant de l'Argens – le cas des mesures de réduction de la vulnérabilité des logements. Rapport technique, IRSTEA, 2019.



Fig 1 : Communes du bassin versant de l'Argens couvertes par un PPRI - auteur : C. Richert

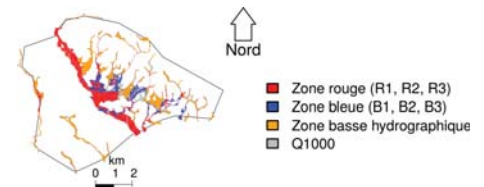


Fig 2 : Zones des PPRI du bassin versant de l'Argens : l'exemple de Draguignan - auteur : C. Richert

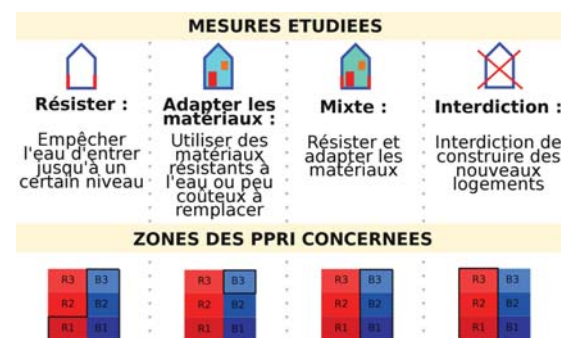


Fig 3 : Description des mesures étudiées et zones des PPRI concernées – auteur : C. Richert

# Assises nationales des risques naturels 2019

## Appel à poster

**Titre du poster :** Analyse intégrée de l'aléa inondation : Complémentarité des approches géographiques et de modélisations

**Auteurs et affiliations :**

Patrick Buquet<sup>1</sup>

Fabien Christin<sup>1</sup>

Philippe Debar<sup>1</sup>

Antonin Montané<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cereg

**Résumé :**

La connaissance des aléas et des risques d'inondation constitue la base de leur gestion et de leur prévention. Les acteurs de la gestion des risques sont demandeurs de telles connaissances, motivés par les inondations meurtrières qui touchent régulièrement la France. Dans un contexte de généralisation des données topographiques à haute résolution (LiDAR), de recherche d'évènements de plus en plus rares (Q1000), mais aussi de phénomènes de plus en plus fins (analyse du ruissellement), Cereg cherche à combiner deux approches complémentaires afin d'améliorer ces connaissances.

L'approche géographique comporte la réalisation d'une carte hydrogéomorphologique, aujourd'hui adaptable à l'analyse des ruissellements, notamment grâce à la disponibilité des MNT LiDAR. La cartographie est complétée par la méthode EXZECO (développée par le CEREMA), sur des MNT de 5 m de résolution. D'autres informations issues de traitements SIG tels que les zones endoréiques ou les axes de ruissellement sur voirie ajoutent un niveau de connaissance supplémentaire. L'analyse du ruissellement avec cette approche géographique peut aujourd'hui aboutir à la production d'un zonage réglementaire annexé au PLU et complémentaire d'un éventuel PPRI déjà approuvé sur une commune.

Lorsque la quantification du risque inondation est nécessaire, les approches de modélisations hydrologiques et hydrauliques sont mises en place pour définir des débits, des hauteurs de submersion et les vitesses d'écoulement. Ces approches numériques sont proposées aux communes afin d'affiner la connaissance de l'aléa et permettre la définition de dispositions constructives réglementaires spécifiques aux risques identifiés. De plus, des propositions d'aménagements et de réduction de l'aléa peuvent être élaborées. Les modélisations mises en œuvre sont ainsi adaptées aux objectifs et aux complexités des territoires étudiés avec l'utilisation des codes numériques classiques (HEC HMS, PC SWMM, Inforworks, HEC RAS) ainsi que du code de calcul bidimensionnel (SW2D, développé par l'UM2) dont des modules sont régulièrement implémentés par l'université pour répondre aux besoins des études (prise en compte du réseau d'assainissement pluvial par exemple).

La combinaison de l'approche géographique et de l'approche de modélisation permet la réalisation de cartographies réglementaires, de schémas directeurs d'aménagement ainsi que la réalisation de support de diffusion pour la sensibilisation des élus et des populations et la communication.

# Approche intégrée de détermination de l'aléa ruissellement

Une plus value pour la gestion de cet aléa longtemps sous-estimé



Patrick Buquet – [p.buquet@cerreg.com](mailto:p.buquet@cerreg.com)  
Fabien Christin – [f.christin@cerreg.com](mailto:f.christin@cerreg.com)  
Philippe Debar – [p.debar@cerreg.com](mailto:p.debar@cerreg.com)  
Antonin Montané – [a.montane@cerreg.com](mailto:a.montane@cerreg.com)

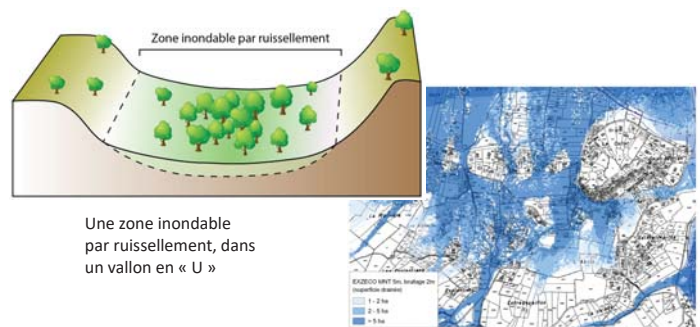
589, rue Favre de Saint-Castor  
34080 MONTPELLIER  
Tél : 04.67.41.69.89  
[www.cerreg.com](http://www.cerreg.com)

L'aléa ruissellement est aujourd'hui au cœur des préoccupations de nombreux acteurs désireux de disposer d'une connaissance fine des inondations sur leur territoire. Cereg répond à cette demande avec une démarche intégrée mêlant des approches qualitatives et quantitatives.

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

L'approche qualitative s'appuie sur la cartographie hydrogéomorphologique (HGM), adaptée à l'analyse du ruissellement, notamment grâce aux MNT **LIDAR**, complétée par des analyses **EXZECO** (développé par le CEREMA).

Lorsque la quantification du ruissellement est nécessaire, des modélisations hydrologiques et hydrauliques sont mises en place pour définir les débits, les hauteurs de submersion et les vitesses d'écoulement. Dans le cas d'écoulements complexes, une modélisation bidimensionnelle s'impose : elle est organisée à partir de la procédure **GERIMU**, développée en collaboration avec Predict Services et l'UM2.



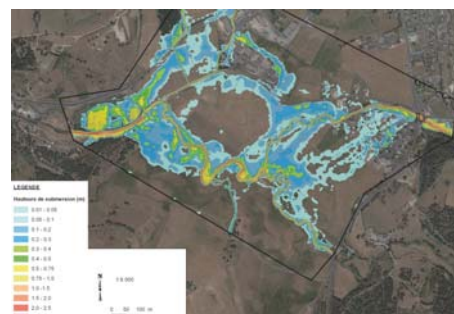
Une zone inondable par ruissellement, dans un vallon en « U »

Identification des axes d'écoulement avec la méthode EXZECO

## Résultats

L'approche géographique aboutit à la délimitation des **zones inondables** par ruissellement, le ruissellement sur **voirie**, les **axes d'écoulement** ou encore les **zones endoréiques**.

**GERIMU** complète la connaissance en donnant de l'information sur la fréquence du phénomène et ses caractéristiques calculées ce qui en fait également un outil précieux pour la gestion de crise.



Approche qualitative (résultats SW2D)



Approche géographique

## Applications

L'intégration du risque de ruissellement dans les **PLU**, parfois en plus d'un **PPRI existant**, fournit aux élus et aux aménageurs une **vision exhaustive** de l'aléa inondation. L'association de l'approche géographique (peu onéreuse) menée à l'échelle de l'ensemble du territoire avec des modélisations sur les secteurs à enjeux qui nécessitent une quantification, constitue une solution **techniquement idéale et financièrement acceptable**.

Cependant, cette possibilité de connaître l'aléa ruissellement reste **globalement méconnue**. Le développement de cette approche demandera une information et une appropriation par les acteurs clés (Services de l'État, EPCI, communes, urbanistes).



Exemple d'un zonage réglementaire annexé à un PLU, combinant cartographie HGM et modélisation 2D

## Approche technique mutualisée des problématiques du ruissellement pluvial urbain

- Maxime Le Sommer, chargé de mission (correspondant pour ce poster [maxime.lesommer@eptb-loire.fr](mailto:maxime.lesommer@eptb-loire.fr) / 02.46.47.03.44).

Une inondation par ruissellement pluvial est provoquée par « les seules précipitations tombant sur l'agglomération, et (ou) sur des bassins périphériques naturels ou ruraux de faible taille, dont les ruissellements empruntent un réseau hydrographique naturel (ou artificiel) à débit non permanent, ou à débit permanent très faible, et sont ensuite évacués par le système d'assainissement de l'agglomération [ou par la voirie]. Il ne s'agit donc pas d'inondation due au débordement d'un cours d'eau permanent, traversant l'agglomération, et dans lequel se rejettent les réseaux pluviaux » (*Les collectivités locales et le ruissellement pluvial, MEDD, 2006*).

Face à la nécessité de gérer, voire d'anticiper, les incidences des imperméabilisations engendrées par l'usage des sols sur les conditions de ruissellement des eaux de pluies en cas de précipitations importantes, certaines collectivités ont mené des démarches, selon différentes approches, afin de mieux comprendre le phénomène et mettre en place ou intégrer dans les nouveaux aménagements des mesures de gestion adaptées, alternatives au « tout tuyau ».

Dans le prolongement d'un travail de stage d'un étudiant de Master Ingénierie et Gestion de l'Eau et de l'Environnement de l'Université de Limoges, mené au sein de ses services sur la problématique de la gestion des eaux pluviales urbaines et de la réduction du risque d'inondations par ruissellement à l'échelle du bassin de la Loire et ses affluents, l'Etablissement a initié le développement d'une approche technique mutualisée des problématiques du ruissellement pluvial urbain. Il bénéficie pour ce faire du soutien financier de l'Europe (FEDER).

A partir du recensement des typologies de ruissellements pouvant générer des inondations dans les zones urbanisées, et des études de référence ou approches innovantes déployées par des EPCI du bassin en matière de collecte, gestion et régulation des débits d'eaux de ruissellement pluvial urbain, une analyse comparative des démarches existantes (approche, méthodologie, technique, mode d'organisation) a été réalisée. Elle vise en particulier à identifier les bonnes pratiques, à préciser les potentialités/limites de leur mise en œuvre, et à définir des axes de progrès concrets afin d'ouvrir la voie à la mise en œuvre d'actions d'amélioration réalistes.

Un retour d'expériences a été établi sous la forme d'un guide pratique illustré d'exemples rencontrés dans les collectivités du bassin, à commencer par ceux en TRI ou territoire à enjeux, et mettant en évidence les résultats et les enseignements de l'étude.

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'appui apporté par l'Etablissement à une vingtaine de territoires à enjeux, pour l'élaboration de leur stratégie de gestion des risques d'inondation et la mise en œuvre de ces dernières *via* notamment le dispositif PAPI.

[https://www.eptb-loire.fr/wp-content/uploads/2018/11/CP\\_SEMINAIRE\\_SLGRI2018.pdf](https://www.eptb-loire.fr/wp-content/uploads/2018/11/CP_SEMINAIRE_SLGRI2018.pdf)  
[http://www.eptb-loire.fr/wp-content/uploads/2015/09/ACTU\\_SLGRI\\_08\\_2017.pdf](http://www.eptb-loire.fr/wp-content/uploads/2015/09/ACTU_SLGRI_08_2017.pdf)



# Appréhension du ruissellement pluvial urbain

## Approche technique mutualisée sur le bassin de la Loire et ses affluents

Maxime LE SOMMER

Etablissement public Loire



Face à la nécessité de gérer les incidences de l'imperméabilisation des sols sur les conditions de ruissellement lors de précipitations importantes, certaines collectivités ont mené des démarches, selon différentes approches, afin de mieux comprendre le phénomène et de mettre en place des mesures de gestion adaptées

### Problématiques de recherches - méthodes - objectifs

A partir du recensement des typologies de ruissellements pouvant générer des inondations en zone urbanisée, et des études de référence ou approches innovantes d'intercommunalités en matière de collecte, gestion et régulation des débits de ruissellement, une analyse comparative des démarches existantes a été réalisée (approche, méthodologie, technique, mode d'organisation).

### Résultats

Le retour d'expériences de 15 collectivités du bassin a permis d'identifier des bonnes pratiques de gestion, ainsi que les potentialités comme les limites de leur mise en œuvre.

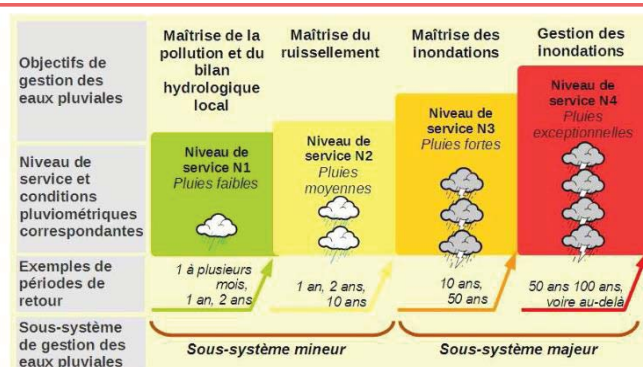
La restitution des enseignements de ce travail est prévue sous la forme d'un guide pratique, illustré d'exemples rencontrés sur les collectivités du bassin. L'objectif est de mettre en évidence les principaux résultats de l'étude et définir les axes de progrès concrets afin d'ouvrir la voie à la mise en œuvre d'actions d'amélioration réalistes.

### Applications

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'appui « de bassin » de l'Etablissement, en l'occurrence celui apporté à une vingtaine de territoires à enjeux, pour l'élaboration de stratégies de gestion des risques d'inondation et leur mise en œuvre, via notamment le dispositif PAPI. Il pourra également contribuer au développement des réponses apportées à cette problématique dans le cadre du prochain PGRI Loire-Bretagne.

Pour en savoir plus :

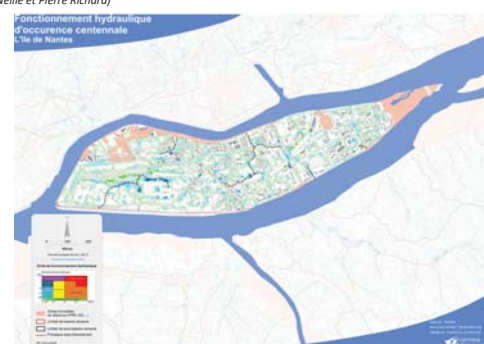
[www.eptb-loire.fr/ruissellement-pluvial-urbain](http://www.eptb-loire.fr/ruissellement-pluvial-urbain)



Objectifs de gestion des eaux pluviales selon les conditions pluviométriques  
Notion de niveau de service (CEREMA)



Inondations dans le centre de Tours et à Romorantin-Lanthenay en 2016, (photos Natacha Nellie et Pierre Richard)



Fonctionnement hydraulique d'occurrence centennale – zonage pluviale (Nantes Métropole)

## **Approche innovante d'un site expérimental combinant l'expertise, l'acquisition 3D, la modélisation numérique et l'auscultation - Exemple de Château Landon (77)**

Auxane CHERKAOUI<sup>1</sup>, Vincent RENAUD<sup>1</sup>, Jean-Marc WATELET<sup>1</sup>, Philippe GOMBERT<sup>1</sup>, Charles KREZIAK<sup>2</sup>

1 : Ineris, Parc technologique Alata, 60550 Verneuil-en-Halatte - France

Adresse de contact : [auxane.cherkaoui@ineris.fr](mailto:auxane.cherkaoui@ineris.fr)

2 : Cerema, Direction territoriale Ile-de-France 12 rue Teisserenc de Bort - 78190 Trappes-en-Yvelines

En janvier 1910 lors de la crue de la Seine, l'effondrement d'une carrière souterraine de craie en bordure du Loing, également en crue, a provoqué un glissement du coteau de grande ampleur, causant la mort de sept personnes et détruisant plusieurs habitations. La nature soudaine de l'évènement et sa concomitance avec une remontée d'eau souterraine dans la carrière amène à s'interroger sur le comportement mécanique de la craie le long des vallées fluviales, soumis à une saturation brutale. Des travaux ont été menés dans ce sens depuis 2011, mais il semble que l'ampleur du phénomène ne puisse pas seulement être expliquée par la réduction des propriétés mécaniques de la craie en présence d'eau.

La carrière souterraine voisine, encore accessible et située à moins de 500 m de celle effondrée, est un site idéal pour étudier les mécanismes responsables de ce phénomène. En effet, cette carrière a produit un matériau similaire et a montré des signes d'instabilité en 2016 à la suite d'événements climatiques exceptionnels (précipitations de 177 mm pour le mois de mai et crue centennale du Loing). Une première phase d'étude a révélé des similitudes entre ces deux carrières et l'intérêt d'instrumenter la carrière pour expliquer le comportement de ce type d'ouvrage afin de comprendre les mécanismes qui ont conduit à cet effondrement soudain, lequel pourrait se reproduire sur d'autres carrières de même configuration dans le Bassin Parisien et plus généralement en bordure des vallées fluviales.

Compte tenu de la configuration géométrique particulièrement complexe du site (topographie de surface avec collines et vallées, galeries de forme et de section hétérogènes), un modèle numérique 3D des galeries de la carrière a été construit à partir d'une numérisation par scanner laser 3D. L'objectif est d'étudier avec précision les mécanismes potentiellement responsables d'un effondrement après une période extrêmement pluvieuse : lubrification accrue d'une faille majeure traversant la carrière, montée des eaux souterraines modifiant rapidement les propriétés géomécaniques des piliers de craie, etc. Différents scénarios ont été proposés pour apprécier les critères pouvant contribuer à l'effondrement de la carrière. De plus, les zones de variations maximales de déplacements, de déformations et de contraintes ont été identifiées. Cette information a été utilisée pour concevoir une instrumentation de surveillance adéquate alliant suivi géotechnique et hydrogéologique du site.

Cette approche multidisciplinaire novatrice (la numérisation 3D comme donnée d'entrée pour la modélisation, elle-même permettant la conception de l'instrumentation) est explicitée dans le poster.

# Approche innovante du suivi hydrogéotechnique de la carrière souterraine de Château-Landon

Expertise, Acquisition 3D, Modélisation numérique et Auscultation

Auxane CHERKAOUI, Vincent RENAUD, Jean-Marc WATELET,  
Philippe GOMBERT  
[auxane.cherkaoui@ineris.fr](mailto:auxane.cherkaoui@ineris.fr), [vincent.renaud@ineris.fr](mailto:vincent.renaud@ineris.fr), [jean-marc.watelet@ineris.fr](mailto:jean-marc.watelet@ineris.fr), [philippe.gombert@ineris.fr](mailto:philippe.gombert@ineris.fr),  
Charles KREZIAK  
[charles.kreziak@cerema.fr](mailto:charles.kreziak@cerema.fr)

Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris)

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema)

INERIS  
maîtriser le risque pour un développement durable

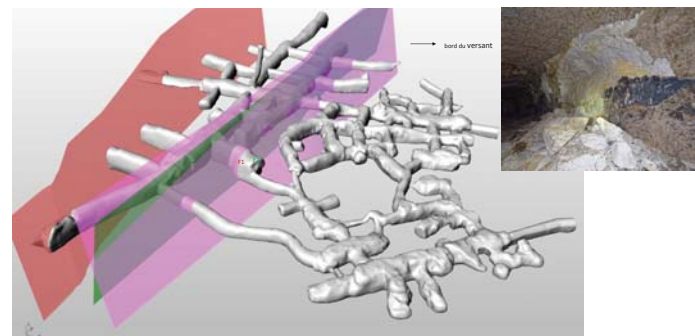
Cerema  
Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

## Problématique opérationnelle, question posée :

Evaluer le risque d'effondrement de grande ampleur d'une carrière souterraine de craie soumise à une crue centennale.

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

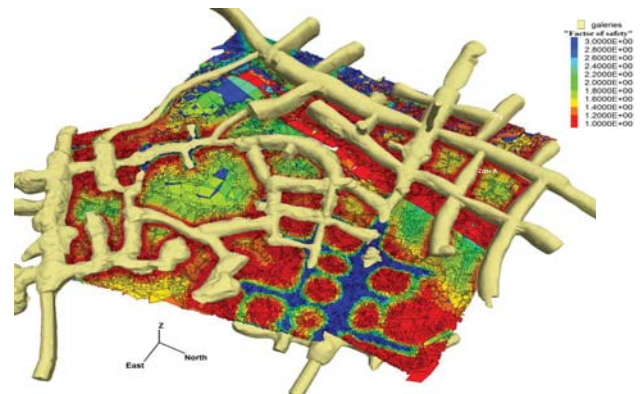
Lors de la crue de janvier 1910, la carrière souterraine « Beaulieu » s'est effondrée et a engendré un glissement massif de 4 ha provoquant le décès de 7 personnes. La carrière « Royer », voisine et encore accessible, a connu des désordres lors de la crue de juin 2016. Elle constitue donc un site idéal pour étudier ce risque. La méthode utilisée se décompose en 3 étapes : (i) la numérisation 3D de la carrière, (ii) sa modélisation 3D, qui débouche sur (iii) la mise en place de l'instrumentation.



Numérisation 3D de la carrière avec ses principales failles et éboulement de 2016 - Ineris

## Résultats

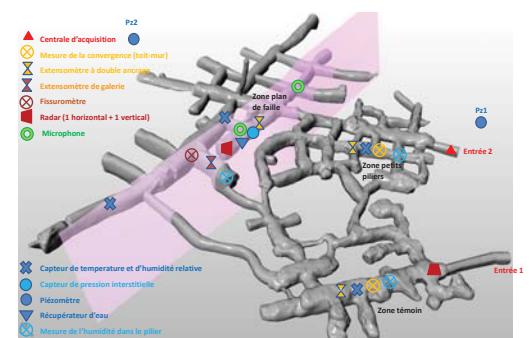
Les résultats montrent que l'influence des failles de versant est faible sauf localement pour les zones proches de celles-ci et des parois des galeries. L'influence de la nappe paraît plus importante car la résistance de cette craie diminue fortement lorsque sa saturation augmente ( $s > 90\%$ ) et son influence concerne toutes les zones situées sous une certaine cote. La modélisation du site a permis d'identifier deux zones préférentielles à instrumenter, à savoir la zone du plan de faille et une zone de petits piliers, ainsi qu'une zone dite « témoin » qui n'est pas soumise à de grandes déformations.



Distribution du facteur de sécurité dans les piliers de craie lors d'une montée de la nappe (74,8 m NGF) - Ineris

## Applications

La surveillance hydrogéotechnique prévue permettra d'observer et de quantifier le comportement de ce type d'ouvrage souterrain à l'arrivée massive d'eau dans son sous-sol, conduisant à une perte de résistance de l'encaissant et au déclenchement possible d'un effondrement. Il est important de comprendre les conditions d'occurrence de ce type d'évènement concomitant à une crue, car il est susceptible de se reproduire sur d'autres carrières de même configuration dans le Bassin Parisien et en bordure d'autres vallées fluviales.



Projet d'instrumentation de la carrière – Ineris et Cerema

# APPROCHE INTÉGRÉE D'AIDE À LA DÉCISION ET APPLICATION AUX PROJETS D'AMÉNAGEMENT DANS LE CONTEXTE DE LA GEMAPI.

Jean-Marc Tacnet<sup>1</sup>, Guillaume Piton<sup>1</sup>, Félix Philippe<sup>1</sup>, Antoine Gouhrand<sup>2</sup>, Carolyne Vassas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université Grenoble Alpes, Irstea, ETNA (Erosion Torrentielle Neige et Avalanches), 38000 Grenoble, France.

<sup>2</sup> SMIGIBA (Syndicat Mixte de Gestion Intercommunautaire du Buech et de ses Affluents), Aspremont, France.

**Mots-clés :** Inondation, GEMAPI, aide multicritère à la décision, Solutions fondées sur la Nature

## INTRODUCTION

Lors de l'étude de nouveaux aménagements de cours d'eau et dans le cadre de la loi GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations), les praticiens, les maîtres d'ouvrage, les financeurs et les représentants de l'Etat ont besoin d'outils pour évaluer conjointement et agréger des indicateurs relatifs à l'efficacité technique en matière de protection contre les inondations (PI), d'impacts environnementaux (GEMA), mais aussi de conséquences économiques ou socio-culturelles des mesures et stratégies envisagées.

Pour satisfaire aux impératifs de protection contre les inondations, de préservation des milieux et de réduction des coûts, la sélection du meilleur projet devient un délicat problème de décision pluridisciplinaire. Les approches techniques, déterministes issues du monde de l'ingénierie (hydraulique, hydrologie, génie civil) et les méthodes économiques telles que les analyses coûts/bénéfices demeurent classiquement et habituellement prépondérantes dans le processus d'analyse des risques. Elles contribuent à la prise de décision mais peuvent s'avérer insuffisante pour choisir ou comparer des variantes en fonction de critères techniques, économiques, environnementaux, sociaux et culturels. Pour les projets ayant une double portée de protection contre les inondations et de restauration des milieux, de nouveaux cadres sont attendus pour répondre à ces nouveaux objectifs.

Ce poster présente un panorama synthétique d'une nouvelle méthodologie d'évaluation et d'aide multicritères à la décision développée dans le cadre d'application de la GEMAPI mise en œuvre sur la rivière du Buech (Hautes-Alpes). Il établit également une connexion avec les approches européennes telles que celles développées dans le projet NAIAD (Nature Insurance Value: Assessment and Demonstration) qui analyse notamment l'efficacité des solutions fondées sur la nature (SfN<sup>1</sup>) pour la protection contre les inondations.

## METHODOLOGIE

Une démarche d'aide à la décision pluridisciplinaire, intégrée mais pragmatique et opérationnelle est proposée en montrant la complémentarité avec les concepts et outils classiques d'analyse de risque (Analyse Coûts Bénéfices, analyse déterministe des aléas...). Elle permet à la fois d'évaluer les solutions techniques sur les plans techniques et environnementaux mais aussi de co-construire des cadres d'aide à la décision discutés avec les différents acteurs locaux et institutionnels en partageant la vision des problèmes à l'échelle du bassin versant et facilitant du même coup les processus de décision ultérieurs. Au-delà des résultats locaux, la démarche et les outils proposés peuvent être réutilisés, adaptés par d'autres acteurs en complément des méthodes existantes pour aider la décision mais aussi tracer et formaliser le processus de décision.

Références: <http://www.set-revue.fr/gemapi-vers-une-gestion-plus-integree-de-leau-et-des-territoires>

<sup>1</sup> Nature-Based Solutions ou NBS en anglais

# Approche intégrée d'aide à la décision dans le contexte de la GEMAPI

## Application aux projets d'aménagement

Jean-Marc TACNET<sup>1</sup>, Guillaume PITON<sup>1</sup>,  
Félix PHILIPPE<sup>1</sup>  
Antoine GOUHRAND<sup>2</sup>, Carolyne VASSAS<sup>2</sup>  
[jean-marc.tacnet@irstea.fr](mailto:jean-marc.tacnet@irstea.fr); [agouhrand.smigiba@orange.fr](mailto:agouhrand.smigiba@orange.fr)

<sup>1</sup> Univ. Grenoble Alpes, Irstea, ETNA, Grenoble France.

<sup>2</sup> SMIGIBA (Syndicat Mixte de Gestion Intercommunautaire du Buch et de ses Affluents), Aspremont, France.



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 730497.

**Problématique opérationnelle** : pour appliquer la GEMAPI et choisir, comparer des mesures ou stratégies d'aménagement, comment identifier puis agréger des indicateurs relatifs aux critères d'efficacité technique en matière de protection contre les inondations (PI), à leurs impacts environnementaux (GEMA), économiques ou socio-culturels ?

### GEMAPI : comment prenez-vous vos décisions ?

Se protéger contre les inondations et préserver les milieux sont deux objectifs majeurs mais les contextes et besoins sont souvent différents. Comment prioriser, sélectionner les stratégies et motiver les choix ?

Analyser, combiner les visions, préférences des acteurs et décideurs s'avère essentiel : la méthodologie proposée complète les approches économiques, techniques, environnementales....

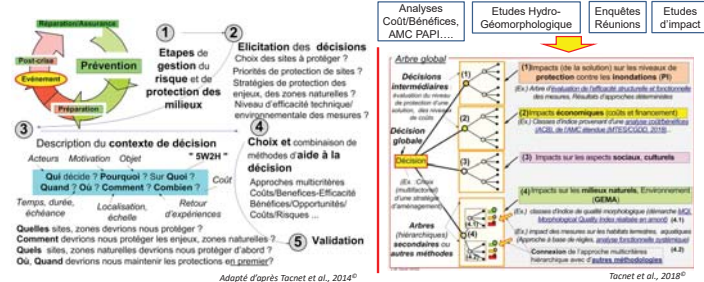


La prise en compte des risques inondations est essentielle. En secteur rural, peu urbanisé, les aspects environnementaux représentent néanmoins des enjeux majeurs

### Les critères de choix ont-ils (tous) la même importance ?

La démarche considère un problème complexe comme une combinaison de sous-problèmes (vision hiérarchique sous forme d'arbre). Les critères de décision sont décomposés en sous-critères dont on évalue l'importance relative, en permettant de discuter, d'expliquer, choisir, négocier...

Les solutions d'aménagement sont évaluées par des indicateurs qui exploitent les résultats d'études techniques amont classiques mais aussi les préférences des décideurs ou acteurs.

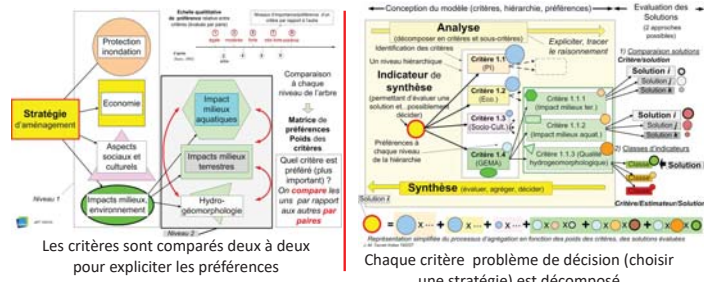


Pour aider une décision, il faut être capable de bien la décrire : solutions, échelle, échéances...?

Les différentes sources d'information et d'expertise thématiques peuvent être utilisées pour évaluer les indicateurs liés aux critères

### Une méthodologie accessible, facilement adaptable

Les méthodologies d'aide multicritère à la décision permettent autant de co-construire, argumenter, tracer les raisonnements et hypothèses que décider. Elles complètent avantageusement les expertises et cadres classiques (AMC PAPI par exemple) et sont faciles à mettre en œuvre. Elles constituent un chaînon complémentaire pour exploiter les (indispensables) études techniques, économiques... et contribuer aux phases de décision ou négociation entre acteurs locaux et institutionnels.

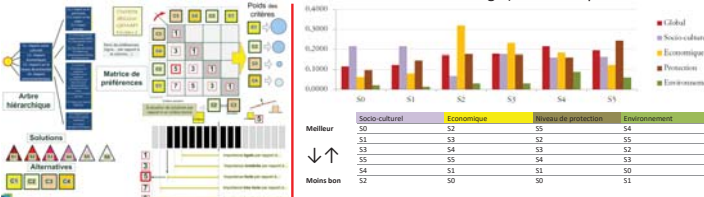


Les critères sont comparés deux à deux pour expliciter les préférences

Chaque critère problème de décision (choisir une stratégie) est décomposé

### Pour en savoir plus :

Numéro spécial Science Eaux et Territoires (SET), novembre 2018.  
<http://www.set-revue.fr/gemapi-vers-une-gestion-plus-integree-de-leau-et-des-territoires>  
Tacnet J.-M. et al. (2018). Décider dans le contexte de la GEMAPI : exemple de méthodologie d'une approche intégrée d'aide à la décision et application aux projets d'aménagements ; Piton et al. (2018) ; Philippe et al. (2018)



Des supports pour une mise en œuvre de séances pratiques

Chaque scénario est évalué sur la base des critères et indicateurs retenus : une base de discussion...



CARACTERISATION DU RISQUE NATUREL GRAVE ET PREVISIBLE MENACANT LES VIES HUMAINES  
DANS LA ZONE DES 50 PAS GEOMETRIQUES DE LA GUADELOUPE.

Y. Legendre<sup>1</sup>, E. Grellier<sup>1</sup>, A. Nachbaur<sup>2</sup>

1. Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) – Direction Régionale Guadeloupe

2. Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) – Direction Régionale Martinique

En Guadeloupe, près de 10 000 habitations sont situées dans la zone des 50 pas géométriques (domaine public de l'État), dont **plus de 2 000 sont situées en zone d'aléa fort** au titre des Plans de Prévention des Risques. Instituée en 1996, l'Agence des 50 Pas Géométriques de Guadeloupe est chargée de la gestion des espaces urbains de cette zone littorale, notamment l'instruction des dossiers de régularisation de l'habitat illégal, qui prend en compte l'exposition des constructions aux risques naturels.

Depuis un avis du Conseil d'État rendu en 2012, les dossiers sont instruits au regard de la zone d'aléa fort du Plan de Prévention des Risques. Cependant, l'introduction de **la notion de risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines** dans la loi Letchimy du 23 juin 2011 et dans la Loi d'actualisation du droit de l'Outre-Mer du 15 octobre 2015 a fait évoluer cette doctrine. La loi Letchimy du 23 juin 2011 stipule que dans « une zone exposée à un *risque naturel prévisible menaçant gravement des vies humaines* », l'expropriation donne droit à des indemnisations et la Loi d'actualisation du droit de l'Outre-Mer du 15 octobre 2015 interdit la cession du terrain à des personnes privées « lorsque la construction est située dans une zone exposée à un *risque naturel grave et prévisible menaçant des vies humaines*. ».

**Le BRGM a développé une méthodologie générique permettant de caractériser les zones exposées à un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines**, en considérant les phénomènes suivants : recul du trait de côte, action mécanique des vagues et projections de blocs, inondation par submersion marine, inondation par débordement de cours d'eau, érosion des berges, mouvement de terrain ainsi que leur concomitance possible.

Une méthodologie de caractérisation de ces zones a été proposée sous la forme d'un logigramme reposant entre autre sur (1) la définition des zones d'aléa fort pour chaque phénomène à l'échelle du 1/5000<sup>e</sup>, sur (2) l'évaluation des mesures existantes de sauvegarde, de gestion de crise et de secours à l'échelle du territoire et de la commune, sur (3) la vulnérabilité structurelle des habitations vis-à-vis de ces aléas.

Cette méthodologie a été appliquée sur quatre sites pilotes afin de déterminer les zones exposées à un **risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines**. A terme, l'Agence des 50 pas géométriques souhaite appliquer cette méthodologie à l'ensemble des espaces urbanisés du littoral guadeloupéen (plus de 800 hectares).

# Caractérisation du risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines

## Application sur la zone des 50 pas géométriques de Guadeloupe

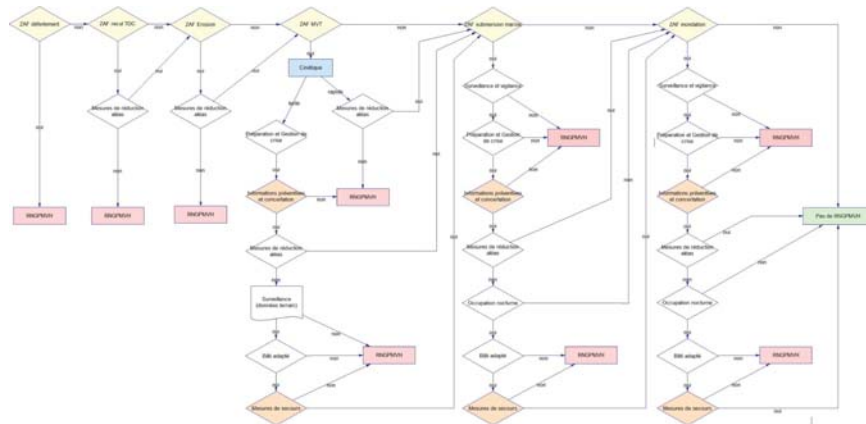
Yoann Legendre [y.legendre@brgm.fr](mailto:y.legendre@brgm.fr) Aude Nachbaur [a.nachbaur@brgm.fr](mailto:a.nachbaur@brgm.fr)  
 Eloïse Grellier [e.grellier@brgm.fr](mailto:e.grellier@brgm.fr) Manuel Moisan [m.moisan@brgm.fr](mailto:m.moisan@brgm.fr)  
 Agence des 50 pas géométriques de Guadeloupe (AG50)  
 DEAL Guadeloupe (DEAL)



Définir une méthodologie pour caractériser les zones présentant un **risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines** sur le littoral guadeloupéen et fournir aux services de l'Etat des critères de choix pour orienter leurs décisions sur le traitement des habitations (légal ou non) dans ces zones.

### Problématiques

- Depuis un avis du Conseil d'État rendu en 2012, l'instruction des dossiers de régularisation des habitations situées dans la zone des 50 pas géométriques prend en compte l'exposition aux risques naturels et notamment la zone d'aléa fort du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRn).
- La loi Letchimy (2011), stipule que dans « **une zone exposée à un risque naturel prévisible menaçant gravement des vies humaines** », l'expropriation donne droit à des indemnisations et la Loi ADOM (2015) a introduit par son article 28 que « **La cession du terrain à des personnes privées ne peut être effectuée lorsque la construction est située dans une zone exposée à un risque naturel grave et prévisible menaçant des vies humaines.** ».



Logigramme de caractérisation des zones présentant un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines (BRGM/AG50/DEAL)



Risques naturels sur le littoral de la Guadeloupe pris en compte dans la caractérisation du risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines (BRGM)

### Résultats

- Elaboration d'une méthodologie générique afin de caractériser les zones exposées à un risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines

### Applications

- Application de cette méthodologie à 4 (+2) sites en Guadeloupe
- Généralisation à l'ensemble du littoral guadeloupéen ?

Cartographie du risque naturel grave et prévisible sur le site pilote du bourg de Pointe-Noire et caractérisation des bâtiments présent dans une zone de risque naturel grave et prévisible menaçant les vies humaines (BRGM/AG50/DEAL)



## Utilisation des drones pour la caractérisation des phénomènes d'érosion éoliennes des dunes du littoral Atlantique.

Franck Desmazes<sup>1</sup>, Manuel Garcin<sup>1</sup>, Valentin Métereau<sup>2</sup>, Loïc Gouguet<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BRGM, Service Géologique National

<sup>2</sup>ONF, Office National des Forêts

Contact : [f.desmazes@brgm.fr](mailto:f.desmazes@brgm.fr) ; 02-38-64-32-19

Sur la côte Atlantique, l'ONF est gestionnaire de vastes zones de dunes domaniales et surveille l'érosion éolienne de ce milieu sensible. Tous les 5 ans, l'ONF réalise un inventaire exhaustif de l'état des dunes afin d'évaluer l'efficacité des travaux de gestion et de protection engagés. C'est dans ce cadre que l'ONF et le BRGM collaborent pour étudier l'intérêt des données de photogrammétrie acquises par drones pour l'évaluation de l'érosion éolienne et de l'état des dunes domaniales.

L'utilisation des drones pour la surveillance des milieux et le suivi des évolutions géomorphologiques permet d'atteindre des échelles de précision et d'emprise inédite. L'accessibilité de ces nouvelles données photogrammétriques sur les milieux littoraux favorise l'analyse de structures ou de processus naturels qui restent encore mal connus.

Ce travail présente les premiers développements méthodologiques qui sont menés sur le site test du littoral des Pays de Monts en Vendée (85) qui fait l'objet de suivis réguliers par l'OLPM<sup>1</sup>. Le secteur d'étude s'étend du goulet de Fromentine jusqu'à Notre-Dame-de-Monts. Des dunes littorales y sont bien établies avec un front dunaire en accrétion régulière depuis la tempête Xynthia (2010). La plage et l'arrière-plage de la Parée Grollier a fait l'objet de 2 acquisitions photogrammétriques diachroniques (2015, 2016) sur un linéaire de 1km et une largeur de 600m. Les orthophotographies générées ont une résolution de 2cm tandis que le nuage de point 3D a été généré avec des résolutions de 4cm et 10cm. L'ensemble du secteur d'étude a fait l'objet en 2016 d'une acquisition sur l'ensemble de son emprise, soit un linéaire de 6km. Les résolutions des nuages de points générés sont de 5 et 30cm. Le vol et la captation ont été réalisés par la société Azur Drone qui a mis en œuvre un drone à aile fixe dans le cadre d'une autorisation de vol « hors du champ visuel », ce qui constitue une première en France pour ce type d'application.

Une comparaison et une analyse critique des résultats obtenus à partir de l'ortho-photographie par drone et les relevés et observations collectées sur le terrain est réalisée. Elle permet de dégager les complémentarités entre les deux approches pour analyser des états dunaires diversifiés (anthropisation, dégradation dunaire, végétalisation, etc.) et mieux caractériser l'évolution éolienne des dunes. Les perspectives d'utilisation de ces techniques d'acquisition pour une cartographie étendue et détaillée de l'évolution des systèmes dunaires sont présentées.

---

<sup>1</sup> Observatoire du Littoral du Pays de Monts



# Caractérisation par drones des phénomènes d'érosion éolienne des dunes du littoral Atlantique

## Exemples d'applications pour le littoral Atlantique

Desmazes Franck<sup>1</sup>, Garcin Manuel<sup>1</sup>, Météreau Valentin<sup>2</sup>,  
Gouguet Loïc<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BRGM ; <sup>2</sup>ONF

f.desmazes@brgm.fr, valentin.meteureau@onf.fr

Organismes :

BRGM

ONF



Géosciences pour une Terre durable

brgm



Sur la côte Atlantique, l'ONF est gestionnaire de vastes zones de dunes domaniales et surveille l'érosion éolienne de ce milieu sensible. Dans le cadre du suivi de l'état de 4500 hectares de dunes non boisées, l'ONF et le BRGM ont collaboré pour estimer l'intérêt des nouvelles techniques d'acquisition par drone.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Les drones sont des vecteurs innovants d'acquisition de données à très haute résolution spatiale (cm). Le **projet EPHEDRA\*** vise à :

- Tester les modalités de mise en œuvre des drones sur les plages sableuses et les domaines de dunes littorales.
- Comparer les données acquises par drone à d'autres types de mesures (DGPS, laser, etc.) et d'observations de terrain.
- Exploiter ces données nouvelles pour caractériser et quantifier les phénomènes d'érosion éolienne des dunes.

### Résultats

Deux cordons littoraux ont été suivis pour cette étude.

**La Parée Grollier (85)** : Captation photographique en 2015 et 2016 (*AzurDrone*) couvrant 600 hectares. Réalisation d'orthophotographies avec un pixel de 3 cm et de Modèles Numériques de Surface à résolution de 10 cm et de 30 cm.

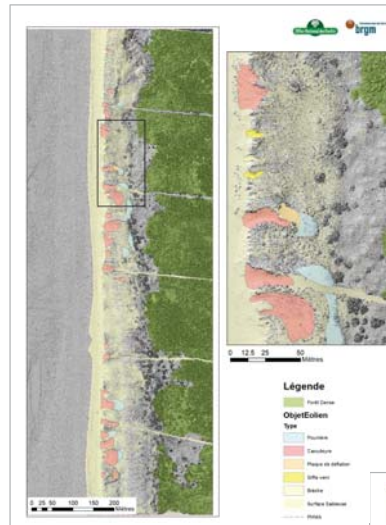
**La Coubre (17)** : Captation photographique et Lidar couvrant 600 hectares en 2018 (*Avion Jaune*). Réalisation d'une orthophotographie à 2 cm, de MNS photogrammétrique et Lidar (5 cm). Nuages de points à très haute densité (80 millions de points) par Laser à main (ZEB, BRGM)

### Applications

Le post-traitement des données photogrammétriques génère des **produits à très haute résolution spatiale** adaptés à la caractérisation précise des zones dunaires et à la **détection des secteurs qui subissent une érosion éolienne active**.

Le **Lidar** est utile pour observer la morphologie dunaire sous la végétation et permettre le suivi de secteurs sensibles dont la couverture végétale évolue dans le temps.

**Les drones et les nouvelles techniques d'acquisition de données géomorphologiques à très haute résolution** sont des outils permettant d'améliorer la qualité du suivi de l'état des dunes et des secteurs dunaires qui font l'objet de mesure de gestion.



#### Plage de la Coubre (17)

Orthophotographie très haute résolution (3cm). Détection automatique des zones non végétalisées de la dune.

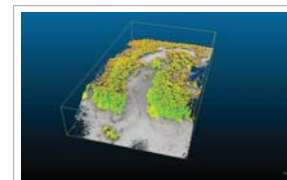
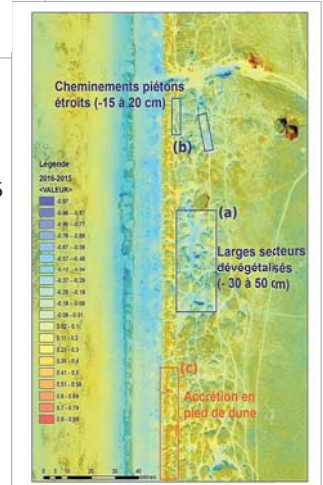
Cartographie des structures morphologiques éoliennes.

- M. Garcin- BRGM

#### Plage de la Parée Grollier (85)

Comparaison de Modèles Numériques de Surface 2016-2015 très haute résolution (10 cm). Interprétation des évolutions observées : Erosion éolienne, effet anthropique (cheminement), accrétion.

- M. Garcin et F. Desmazes- BRGM



#### Lidar et instruments laser

Extraction de la couverture végétale autour d'un sifflement de front dunaire.

- M. Garcin- BRGM

Pour en savoir plus :

\*EPHEDRA : Evaluation des PHénomènes d'Erosion éolienne par utilisation de DRONE sur les dunes du littoral Atlantique <http://www.brgm.fr/actualite/vendee-relevs-drones-surveiller-erosion-littoral>

Desmazes F., Garcin M., Météreau V., Gouguet L. et Leroux J. (2018) - Utilisation des drones pour la caractérisation des phénomènes d'érosion éolienne des dunes du littoral Atlantique.

Exemple des Pays de Monts. 15ème Journées Nationales Génie Côtier - Civil Génie. La Rochelle, Paralia. pp 353-362 p.

**CARIB-COAST**  
**Caribbean network for coastal risks related with climate change**  
**Réseau caribéen de prévention des risques côtiers en lien avec le changement climatique**

Balouin, Y.<sup>1</sup>, De La Torre, Y.<sup>2</sup>, Lecacheux, S.<sup>3</sup>, Pedreros, R.<sup>3</sup>, Lazure, P.<sup>4</sup>, Gayot, M.<sup>5</sup>, Aumont, O.<sup>6</sup>, Catry, T.<sup>7</sup>, Pivard, S.<sup>8</sup>, Villaroel-Lamb, D.<sup>9</sup>, Doodnath, L.<sup>10</sup>, Chardron, P.<sup>11</sup>, Maxam, A.<sup>12</sup>, Girvan, A.<sup>13</sup> et toute l'équipe de Carib-Coast

<sup>1</sup>BRGM, Univ. Montpellier, 1039 Rue de Pinville, 34000 Montpellier, France. [y.balouin@brgm.fr](mailto:y.balouin@brgm.fr)

<sup>2</sup>BRGM, Parc d'activités de Colin, La Lézarde, 97170 Petit-Bourg, Guadeloupe.

<sup>3</sup>BRGM, 3 av. C. Guillemin, 45060 Orléans Cedex 2, France.

<sup>4</sup>IFREMER, Centre Bretagne - ZI de la Pointe du Diable - CS 10070 - 29280 Plouzané, France.

<sup>5</sup>ONF, Route de St-Phy, 97109 Basse-Terre, Guadeloupe, France.

<sup>6</sup>IRD, UMR 7159 LOCEAN, Institut Simon Laplace, 4 pl. Jussieu 75252 Paris, France.

<sup>7</sup>IRD, Maison de la Télédétection, 500 rue J-F Breton, 34093 Montpellier, France.

<sup>8</sup>CAR-SPAW, St-Phy, 97102 Basse-Terre, Guadeloupe, France.

<sup>9</sup>Univ of the West Indies, St Augustine campus, Trinidad & Tobago.

<sup>10</sup>Institute of Marine Affairs, Hilltop Lane, Chaguaramas, Trinidad & Tobago.

<sup>11</sup>CARICOOS, UPRM R&D Center, Bo Miradero, Mayaguez 00680 Porto-Rico.

<sup>12</sup>Mona Geoinformatix Institute, Kingston, Jamaïque.

<sup>13</sup>Association des Etats de la Caraïbe, 5-7 Sweet Briar Road, St Clair, Port of Spain, Trinidad & Tobago.

Exposés aux épisodes cycloniques extrêmes et à la montée progressive du niveau de la mer en lien avec le changement climatique, les littoraux de la Caraïbe sont soumis à des aléas tels que l'érosion côtière et la submersion marine. Les risques associés concernent avant tout la sécurité des biens et des populations, mais également l'économie touristique liée au maintien des plages et le patrimoine naturel de ces milieux d'interface riches en biodiversité (mangroves, récifs coralliens, herbiers).

Le projet CARIB-COAST, soutenu par l'Association de Etats de la Caraïbe (AEC), part du principe de l'efficacité de la mise en réseau. Il a pour ambition de mutualiser, co-construire et diffuser les démarches de surveillance, des préventions des risques côtiers et d'adaptation au changement climatique. Il bénéficie d'un partenariat international incluant des partenaires communautaires : BRGM, IFREMER, ONF, IRD, CAR-SPAW et CNRS et des partenaires extra-communautaires : UWI, IMA, Ministère du travail et transport à Trinidad & Tobago, CARICOOS à Puerto-Rico, MonaGIS à La Jamaïque et l'AEC.

Le programme se décline en 4 « work packages » : la coordination du projet et du partenariat caribéen, la mise en œuvre d'une plate-forme de modélisation de l'hydrodynamique, s'appuyant sur un réseau de mesures caribéen, pour la simulation des aléas actuels et futurs et la régionalisation des scénarios de changement climatique sur les territoires caribéens, le développement d'un réseau caribéen d'observation de l'érosion côtière et de sa mitigation à l'aide d'écosystèmes naturels, et le développement d'outils d'aide à la décision, d'échange et d'homogénéisation des actions de surveillance, de prévention et de gestion risques, de formation et de sensibilisation des acteurs caribéens.

Le projet Carib-Coast est cofinancé par le programme Interreg Caraïbes au titre du Fonds Européen de Développement Régional.

# CARIB-COAST

## Réseau caribéen de prévention des risques côtiers en lien avec le changement climatique

Balouin, Y., De La Torre, Y., Lecacheux, S., Pedreros, R., Lazure, P., Gayot, M., Aumont, O., Catry, T., Pivard, S., Villaroel-Lamb, D., Doodnath, L., Chardon, P., Maxam, A., Girvan, A. et toute l'équipe de Carib-Coast. [ybalouin@brgm.fr](mailto:ybalouin@brgm.fr)

BRGM, IFREMER, ONF, IRD, CAR-SPAW, CNRS, UWI Trinidad & Tobago, IMA, CARICOOS, MGI, ACS



Exposés aux épisodes cycloniques et à la montée du niveau de la mer, les littoraux de la Caraïbe sont soumis à l'érosion côtière et la submersion marine. Les risques concernent la sécurité des biens et des populations, l'économie touristique et le patrimoine naturel de ces milieux riches en biodiversité.

### Problématiques de recherche - méthodes

Le projet CARIB-COAST a pour ambition de mutualiser, co-construire et diffuser les démarches de surveillance, de prévention des risques côtiers et d'adaptation au changement climatique. Il bénéficie d'un partenariat international incluant des partenaires communautaires et extra-communautaires : UWI et IMA à Trinidad & Tobago, CARICOOS à Porto-Rico, MGI à La Jamaïque et l'AEC (Associations des Etats de la Caraïbe).

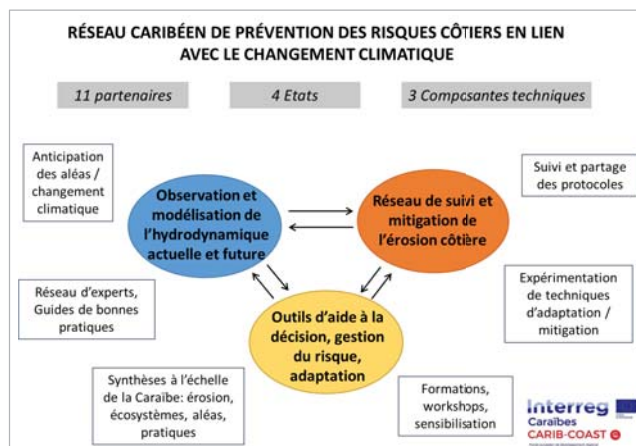
### Résultats attendus

- Meilleure compréhension des phénomènes liés aux aléas en matière d'érosion et submersion marine
- Régionalisation des scénarios de changement climatique sur les territoires caribéens
- Amélioration de la capacité de gestion et d'atténuation de ces aléas
- Mise en réseau d'acteurs isolés pour la valorisation des expériences et l'homogénéisation des actions de surveillance, de prévention et de gestion des risques à l'échelle régionale

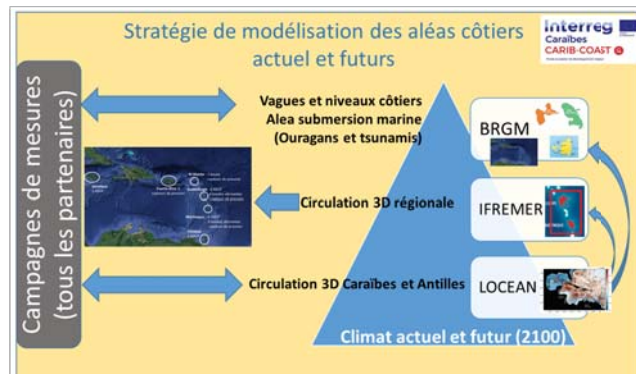
### Applications

Dans le cadre des « work packages » du programme et au travers de la coordination du partenariat caribéen :

- la mise en œuvre d'une plate-forme de modélisation de l'hydrodynamique, s'appuyant sur un réseau de mesures caribéen, pour la simulation des aléas actuels et futurs, incluant cyclones et tsunamis,
- le développement d'un réseau caribéen d'observation de l'érosion côtière et d'expérimentation de son atténuation à l'aide d'écosystèmes naturels (récifs, mangrove, végétation de haut de plage),
- le développement d'outils d'aide à la décision, d'échange, de formation et de sensibilisation des acteurs caribéens.



Description des composantes techniques du projet Carib-Coast



Stratégie de modélisation des aléas côtiers actuels et futurs

## **Cartographie à fine résolution spatiale des écoulements dans une agglomération urbaine. Application à la ville de Ouagadougou (Burkina-Faso)**

Christophe BOUVIER<sup>1</sup>, Frédéric CAZENAVE<sup>2</sup>, Nanée CHAHINIAN<sup>1</sup>, Tazen FOWE<sup>4</sup>, Marielle GOSSET<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UMR 5569 CNRS-IRD-UM, HSM, France, christophe.bouvier@ird.fr ,

<sup>2</sup>UMR 5001 CNRS-IRD-UGA-INP, IGE, France, frederic.cazenave@ird.fr,

<sup>3</sup>UMR 5563 CNRS-IRD-UPS-CNES, GET, France, marielle.gosset@ird.fr ,

<sup>4</sup>2IE, Ouagadougou, Burkina-Faso, tazen.fowe@2ie-edu.org,

Dans les villes africaines, les risques d'inondations sont importants à cause des fortes pluies et d'un développement urbain rapide et peu maîtrisé. Le besoin d'outils efficaces pour l'estimation des crues, en temps différé ou en temps quasi réel, est pressant. C'est dans ce contexte qu'ont été récemment lancées des études à Ouagadougou, Bamako, Niamey, Yaoundé, ayant pour objectif i) de développer la mesure spatiale de la pluie par atténuation du signal de téléphonie mobile, et ii) de développer à partir de ces mesures de pluie spatialisées une chaîne de prévision en temps réel basée sur l'application de modèles hydrologiques ou hydrauliques, préalablement calés en fonction des différents paramètres intervenant dans la formation des écoulements en milieu urbain. Ces études ont été réalisées par l'IRD en collaboration avec différents partenaires nationaux (Universités, Directions des Ressources en Eau, Directions Nationales de la Météorologie, Protection Civile), et bailleurs du développement (Banque Mondiale/Global Facility for Disaster reduction and Recovery, GFDRR ; Korean Growth Green Fund, KGGF ; UNF Data For Sustainable Development initiative).

L'objectif de ce poster est de présenter une alternative de modélisation des écoulements à l'échelle de l'agglomération, offrant des performances raisonnables, une mise en place rapide et des temps de calcul de quelques minutes, compatibles avec la prévision en temps réel. Le cas d'étude présenté est celui de la ville de Ouagadougou. Le modèle opère sur la base d'un MNT à 10 m, et de directions de drainage forcées par le bâti et par le réseau de drainage artificiel. Les débits sont d'abord calculés à l'exutoire de sous-bassins urbains de 0.1 km<sup>2</sup> par le modèle hydrologique spatialisé SCS-LR, puis transférés dans le réseau par le modèle de l'onde cinématique. Le modèle intègre les stockages d'eau dans les retenues. Les sorties du modèle sont les hydrogrammes de crue aux exutoires des sous-bassins, les niveaux d'eau dans les retenues, et les débits, hauteurs, vitesses en tout point du réseau de drainage. L'applicatif temps réel permet de visualiser ces données et de représenter les points de débordement du réseau. La méthode constitue également un outil d'aide à la décision permettant de tester efficacement l'impact de changement d'occupation des sols ou du climat, ou de projets d'aménagement divers. Le modèle est disponible dans la plate-forme de modélisation ATHYS, [www.athys-soft.org](http://www.athys-soft.org).

# Cartographie à fine résolution spatiale des crues dans une agglomération urbaine

## Application à la ville de Ouagadougou, Burkina-Faso

Christophe BOUVIER<sup>1</sup>, Frédéric CAZENAVE<sup>2</sup>,  
Nanée CHAHINIAN<sup>1</sup>, Tazen FOWE<sup>4</sup>,  
Marielle GOSSET<sup>3</sup>  
[christophe.bouvier@ird.fr](mailto:christophe.bouvier@ird.fr)

<sup>1</sup>IRD, HydroSciences Montpellier, France  
<sup>2</sup>IRD, IGE, Grenoble, France  
<sup>3</sup>IRD, GET, Toulouse, France  
<sup>4</sup>2iE, Ouagadougou, Burkina-Faso



Dans les villes africaines, le besoin d'outils efficaces pour l'estimation des crues est pressant, et nécessite une alternative de modélisation des écoulements à l'échelle de l'agglomération, offrant mise en place rapide et performances raisonnables, compatibles avec la prévision en temps réel.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

La modélisation vise à caractériser les écoulements en tout point de l'agglomération, lors d'un épisode pluvieux. Elle est basée sur un MNT 10 m, et des fonctions prenant en compte les pluies, l'occupation des sols, le réseau de drainage artificialisé, les retenues et barrages. Les directions de drainage sont modifiées en fonction des obstacles (bâti) et des axes drainants artificiels (rues, canaux). Le gain de temps est produit par le couplage automatisé d'un modèle hydrologique appliqué sur des petits bassins ( $N > 1000$ ) et un modèle hydraulique appliqué au réseau. Les modèles opèrent dans la plateforme ATHYS ([www.athys-soft.org](http://www.athys-soft.org)).

### Résultats

Un épisode pluvieux est simulé en quelques minutes. Les sorties sont les hydrogrammes de crue aux exutoires des sous-bassins, les niveaux d'eau dans les retenues, et les débits, hauteurs, vitesses en tout point du réseau de drainage. Les points de débordement sont identifiés par différence entre le débit maximum et la capacité de drainage locale. Les simulations ont été contrôlées à l'aide des observations pluie-débit disponibles.

### Applications

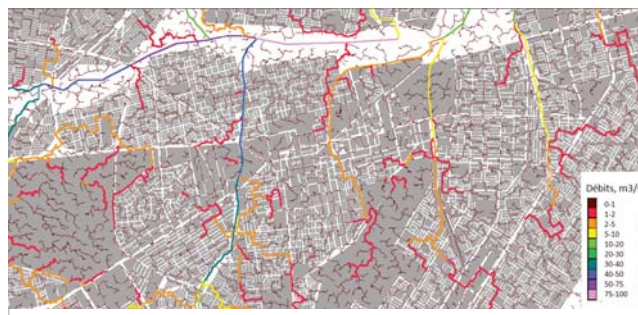
Cette modélisation est couplée à un système de mesure en temps réel des pluies par pluviographes et par atténuation du signal de téléphonie, dans le cadre du programme Rain Cell Africa. L'appliquetemps réel permet de visualiser ces données et de représenter les points de débordement du réseau. La méthode constitue également un outil d'aide à la décision permettant de tester efficacement l'impact de changement d'occupation des sols ou du climat, ou de projets d'aménagement divers.

#### Pour en savoir plus :

Bouvier C., Alcoba M., Cazenave F., Chahinian N., Coulibaly G., Crès A., Crespy A., Fowe T., Gosset M., Miller J., Turko M., Sawadogo L., Modélisation à fine résolution spatiale des inondations dans une agglomération urbaine, par couplage d'un modèle hydrologique et d'un modèle de transfert en réseau. A paraître dans La Houille Blanche



Vues de la ville de Ouagadougou : canal drainage (1), habitat (2), barrage (4). Au centre, les directions de drainage à 10 m (3). Plate-forme ATHYS (5)



Représentation des débits maximum au cours de l'épisode du 09/08/2016, dans la zone centrale de Ouagadougou



Applicatif temps réel pour le risque de débordement dans le réseau de drainage.

## L'information sur les inondations lors des choix de résidence des ménages

Katrin Erdlenbruch (Irstea, UMR G-EAU), Serge Garcia (Inra, UMR Beta), Houda Hafidi (Université de Montpellier, UMR Cee-m), Derrick Mbarga (Irstea, UMR G-EAU)

Les inondations causent des dommages et des perturbations majeures : entre 1980 et 2011, elles ont touché plus de 5,5 millions de personnes en Europe et causé plus de 90 milliards d'euros de pertes économiques directes (EEA 2012). En France, les inondations concernent un habitant sur quatre et sont responsables de plus de 30 milliards d'euros de dommages entre 1988 et 2013 (MEDDE 2012a). Pourtant, de plus en plus de personnes s'installent dans des zones à risques, en raison de la présence d'infrastructures de proximité (écoles, commerces), d'aménités naturelles (vue sur les côtes maritimes, paysages inconstructibles, possibilités d'activités récréatives), ou bien parce que les prix immobiliers sont plus bas qu'en dehors des zones de risque.

Notre communication s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche Irstea-Inra qui est financé par la fondation MAIF. Dans ce projet, nous étudions comment les inondations sont pris en compte lors des choix de résidence des ménages. Le projet poursuit deux objectifs : Nous nous intéresserons d'abord aux choix individuels de résidence et aux arbitrages que les individus effectuent entre risques, prix et aménités. Nous évaluons ensuite l'efficacité des politiques d'information. Le projet porte sur les communes de l'arc Méditerranéen, où le coût des inondations est particulièrement important (CCR 2016).

Le poster se concentre sur la présentation des premiers résultats du projet. Comment l'information sur les inondations est-elle transmise aux ménages ? Comment les ménages assimilent-ils ces informations ? Nous nous appuyons sur un ensemble d'entretiens qualitatifs auprès des acteurs en charge de la transmission des informations (agents immobiliers, notaires, maires) et auprès de quelques ménages ciblés dans nos zones d'étude, ainsi qu'une première enquête quantitative auprès de 331 ménages dans 12 communes des départements de l'Aude et du Var. L'enquête quantitative nous a notamment permis d'étudier si les ménages savaient que leur logement se situait en zone inondable, comment ils le savaient et quels sont les facteurs explicatifs principaux de cette connaissance. Nous avons utilisé des régressions logistiques et un modèle de régression simultanée (« conditional mixed process model ») qui permet de gérer l'endogénéité de la variable « distance à la rivière ». Outre l'expérience d'une inondation aux conséquences importantes, la distance à la rivière, la présence d'un PPRi ou la satisfaction des politiques de gestion publiques ressortent comme des facteurs explicatifs importants. L'information par le maire, le vendeur ou le notaire n'a joué un rôle que pour une minorité de nos enquêtés.

# Choix de résidence des ménages et information sur les inondations

Un cas d'étude sur l'arc méditerranéen français

Katrin Erdlenbruch, [katrin.erdenbruch@irstea.fr](mailto:katrin.erdenbruch@irstea.fr);  
Serge Garcia, [serge.garcia@inra.fr](mailto:serge.garcia@inra.fr);  
Houda Hafidi, [houda.hafidi@umontpellier.fr](mailto:houda.hafidi@umontpellier.fr);  
Derrick Mbarga, [boniface-derrick.mbarga@irstea.fr](mailto:boniface-derrick.mbarga@irstea.fr);

Irstea, UMR G-EAU  
Inra, UMR BETA  
UM, UMR Cee-m  
Irstea, UMR G-EAU



## Problématique opérationnelle, question posée :

Comment les inondations sont-elles prises en compte lors des choix de résidence des ménages ?  
Peut-on améliorer les politiques d'information pour les rendre plus efficaces ?

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Une première étape du projet consiste à comprendre comment l'information sur les inondations est transmise aux ménages et comment les ménages assimilent cette information. Pour répondre à notre problématique, nous nous appuyons sur plusieurs méthodes d'enquête : entretiens qualitatifs, enquête quantitative et expérimentation des choix. Le projet a pour objectif de mieux comprendre les arbitrages entre risques et aménités que les ménages effectuent lors de leur choix de résidence. Il permettra d'améliorer les politiques de transmission des informations vers les ménages.

## Résultats

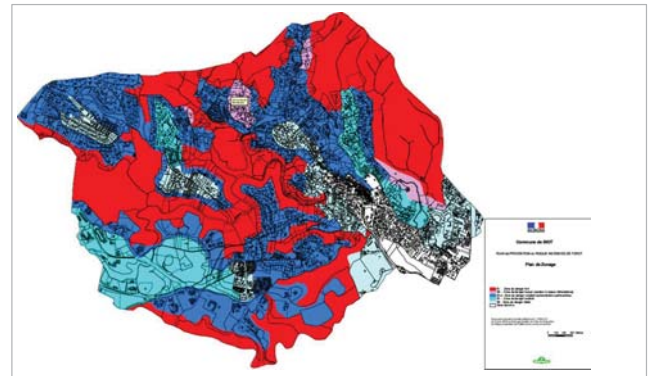
Une première enquête quantitative auprès de 331 ménages de l'Aude et du Var a permis de savoir si les ménages étaient conscients que leur logement était situé en zone inondable. Les facteurs explicatifs principaux sont (cf. tableau ci-contre) :  
i) vivre proche d'une rivière principale ; ii) avoir dû ranger et nettoyer son logement après l'inondation la plus marquante ; iii) ne pas se sentir protégé dans son logement. Vivre à proximité d'une rivière est lui-même lié au fait de vivre dans l'Aude (plutôt que dans le Var), de se trouver dans une zone PPRI, d'évaluer comme grave la dernière inondation et d'être moins satisfait de la gestion publique des inondations. Pour une minorité des enquêtés seulement, l'information sur la situation du logement a été donnée par le maire, le vendeur ou le notaire.

## Applications

Une enquête plus large sera mise en place auprès de 500 ménages de l'arc méditerranéen. Elle permettra par ailleurs de tester différents supports d'information concernant les inondations pour évaluer leur impact sur les choix de résidence.

Pour en savoir plus :

<https://www.fondation-maif.fr/> Onglet: « Nos projets »



Zonage du PPRI de la commune de Biot (06) – SIG/DILA

Estimation simultanée, Modèle CMP	Effet marginal
Equation 1: distance au cours d'eau principal	-3.55e-06**
Etre dans une zone PPRI	2.01e-06***
Etre satisfait de la gestion publique des inondations	8.04e-07
Se sentir en sécurité dans son logement	1.03e-06
Avoir dû nettoyer le logement après l'inondation	-2.79e-06**
Gravité perçue des conséquences de l'inondation	9.87e-06**
Département (Var vs. Aude)	
Equation 2: savoir son logement en zone inondable	
Distance au cours d'eau principal	-0.164***
Etre dans une zone PPRI	0.119
Gravité perçue des conséquences de l'inondation	0.034
Se sentir en sécurité dans son logement	-0.110**
Avoir dû nettoyer le logement après l'inondation	0.173**
Etre satisfait de la gestion publique des inondations	-0.110
N = 254 * p<0.1. ** p<0.05. *** p<0.01.	



Gauche : Résultat du modèle économétrique. Droite : La Naturby en crue à Trans-en-Provence (83) en 2010. Photo Philippe Cantet, Irstea.

Informations acquéreurs – locataires. Les logos et le formulaire officiel.

## CIT'IN CRISE : Un simulateur de gestion de crise inondation pour le grand public

E. Piatszek<sup>2</sup>, P-A. Ayrat<sup>1</sup>, C. Berton<sup>3</sup>, A. Bony-Dandrieux<sup>1</sup>, P. Bouillet<sup>1</sup>, F. Charny<sup>4</sup>, P. Colenson<sup>4</sup>, J. Fortin<sup>3</sup>, N. Fréalle<sup>1</sup>, S. Sauvagnargues<sup>1</sup>, F. Tena-Chollet<sup>1</sup>, J. Tixier<sup>1</sup>, A. Tardy<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> IMT Mines Alès

<sup>2</sup> Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne

<sup>3</sup> CSTI La Rotonde

<sup>4</sup> Petits débrouillards du Gard

Depuis la Loi de Modernisation de la Sécurité Civile [n°2004-811 du 13 août 2004], le citoyen doit être acteur de sa propre sécurité et de par ses actions, notamment pendant le temps de la crise, doit contribuer à la résilience communale. Néanmoins force est de constater que même si le citoyen apparaît dans le Plan Communal de Sauvegarde, il y est seulement intégré, au mieux dans la liste des enjeux et des plans d'évacuation. L'individu reste donc un acteur marginalisé qui manque souvent d'une culture communale du risque inondation. Ceci est préjudiciable, en particulier, lorsque survient l'inondation, car lors des phénomènes de crues, on constate que l'individu devient alors encore plus (OU est le plus souvent) un acteur majeur de la gestion locale du phénomène dangereux. En effet, de par ses réflexes et ses actions, il participe à la dynamique générale qui peut faire basculer le territoire inondé vers une crise majeure ou au contraire permettre une absorption de l'aléa et contribuer à un rétablissement rapide de ce territoire.

Dans ce cadre, le projet PRECISION (appel à projet « Culture du risque inondation Rhône/Saône – Appel à projets innovants 2017/2018 », financé par le FEDER et la région Occitanie) propose d'amener le citoyen à découvrir, et jouer le temps de la gestion de crise inondation, afin qu'il retrouve une place prépondérante, c'est-à-dire, d'un actant sensibilisé, informé et formé, pendant le temps de la catastrophe. Pour cela, il s'agit de fournir au citoyen une (première) « expérience » de gestion de crise inondation, par le biais de la simulation, sur un territoire communal fictif représentatif du contexte hydrologique du Rhône. Ce projet consiste donc, tout d'abord, à concevoir un simulateur (CIT'IN CRISE) permettant au grand public d'endosser le rôle d'acteurs principaux impliqués dans la gestion communale de crise inondation (maire, agents des services techniques, préfet...). Ce simulateur est ensuite employé lors de journées d'animation dans les communes/écoles. Ainsi, ce projet réunit autour de cet objectif des partenaires relevant de la recherche, d'un centre de culture scientifique, technique et industriel, d'associations d'éducation à l'environnement et au développement durable et des collectivités territoriales afin de favoriser une démarche complète partant de la connaissance scientifique, jusqu'à la création d'un outil et d'actions concrètes sur le terrain et leur diffusion au plus grand nombre.



# CIT'IN CRISE

## Dispositif de formation des citoyens au risque inondation et à la gestion de crise

Eric Piatyszek, Alicja Tardy (1)  
 Pierre-Alain Ayrat, Aurélia Bony, Philippe Bouillet, Noémie Fréalle,  
 Florian Tena-Chollet, Jérôme Tixier, Sophie Sauvagnargues (2)  
 Christine Berton, Julie Fortin (3)  
 Flora Charny, Patrice Colenson (4)

1 Ecole Nationale Supérieure des Mines Saint-Etienne  
 2 IMT Mines Alès  
 3 CSTI La Rotonde  
 4 Petits débrouillards du Gard



Contact : [piatyszek@emse.fr](mailto:piatyszek@emse.fr), [pierre-alain.ayrat@mines-ales.fr](mailto:pierre-alain.ayrat@mines-ales.fr)

### Problématique opérationnelle, question posée :

Comment rendre le citoyen acteur de sa propre sécurité et comment accroître sa connaissance sur l'organisation de la gestion de crise inondation au niveau communal ?

=> Renforcer sa culture du risque inondation pour faire du citoyen un actant sensibilisé, informé et formé

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Développer cette culture en proposant au citoyen de revêtir les rôles des acteurs réellement impliqués lors d'une **simulation** de crise

Comment concevoir un simulateur (CIT'IN CRISE) de gestion de crise inondation à destination des citoyens et des scolaires permettant une mise en œuvre aisée lors de manifestations dédiées ?

**Point de départ** : 2 simulateurs de crise issus de la recherche dédiés à la formation de professionnels et d'étudiants

➔ Nécessité de vulgariser les mécanismes de gestion de crise et de favoriser l'accessibilité du simulateur au grand public

### Phases de réalisation du projet



### Applications

Testé à 6 reprises auprès d'environ 140 personnes dont 50 élèves de CM2.

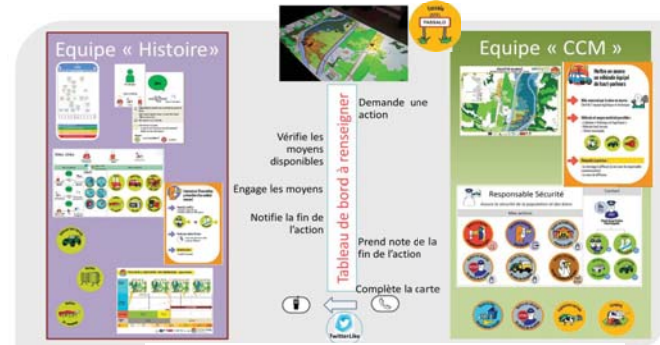
- Nécessité de proposer du matériel ludique
- Les mécanismes de jeu sont facilitateurs
- La mise en situation favorise la coopération
- Le rôle du médiateur scientifique est indispensable
- Taux de satisfaction très satisfaisant
- La simulation permet aux participants de mieux appréhender l'organisation de gestion de crise communale

### Principe



Deux équipes en interaction (12 joueurs)

### Structure matérielle



Deux versions : Adultes et Enfants (cycle 3)

### Déroulement de la simulation



# Comment garder la mémoire des catastrophes naturelles ? Préconisations pour la mise en place de marqueurs mémoriels de risques naturels

Samuel AUCLAIR<sup>1</sup>, Suzanne ETTINGER<sup>1</sup>

1 - BRGM : Direction Risques et Prévention / Unité Risques Sismique et Volcanique

Contact : [s.auclair@brgm.fr](mailto:s.auclair@brgm.fr)

Survenant rarement en comparaison d'autres événements, certains phénomènes liés au sol ou au sous-sol, dramatiques ou non, laissent souvent peu de traces dans la mémoire collective. Or la méconnaissance de ces risques conduit souvent à des choix d'aménagement et des comportements individuels ou collectifs inadaptés, ce qui a tendance à renforcer l'exposition des territoires et des populations aux risques. L'entretien de la mémoire des événements et des catastrophes passées est donc un maillon essentiel pour faire prendre conscience aux populations concernées que le risque existe, et contribue à la prévention des risques naturels.

A l'instar de ce que sont les *repères de crues* pour le risque inondation, il existe dans notre paysage des traces historiques des différents types de risques naturels, *témoins silencieux* de catastrophes survenues en France qui, si on sait les interpréter, peuvent contribuer à la mémoire du risque. Comment les rendre plus explicites pour le public ?

Dans ce contexte, le BRGM a réalisé pour le compte du MTES, une étude visant à étudier la faisabilité d'une signalétique dédiée aux risques géologiques présents en France ayant marqué l'histoire locale par des événements de grande ampleur : séismes, éruptions volcaniques, mouvements de terrain ou avalanches, etc. Fort d'une analyse de retour d'expérience de nombreuses initiatives menées en France comme à l'étranger pour le maintien de la mémoire du risque, le BRGM propose une approche reposant sur un double niveau informationnel :

1. Des marqueurs physiques implantés sur le territoire ;
2. Des contenu « enrichis » numériques accessibles sur internet.

Ainsi, en partant du point de vue très local de l'observateur (« moi, ici, maintenant »), le marqueur de risque physique doit pouvoir l'inciter à élargir son point de vue et à s'engager dans la prévention par l'action volontaire de poursuivre sa consultation en ligne.

Un rapport dresse des recommandations pour la mise en place d'un tel dispositif de marqueurs, et illustre également ce à quoi ils pourraient ressembler, tant dans leur forme physique que numérique, par des exemples fictifs relatifs à cinq catastrophes naturelles ayant affecté le territoire français par le passé.

La méthodologie proposée pourrait utilement être reprise, et autant que de besoin adaptée, pour la mise en œuvre de dispositifs de marqueurs de risques en France, qu'il s'agisse d'initiatives locales sur de petits territoires, ou au contraire de dispositifs de plus grande échelle. Les potentielles structures porteuses sont nombreuses : Etat, Régions, Départements, Communes, observatoires des risques naturels, associations, ...

# Comment garder la mémoire des catastrophes naturelles ?

## Préconisations pour la mise en place de marqueurs mémoriels de risques naturels

Samuel AUCLAIR<sup>1</sup>, Suzanne ETTINGER<sup>1</sup>  
Contact : [s.auclair@brgm.fr](mailto:s.auclair@brgm.fr)

1- BRGM



### Problématique opérationnelle, question posée :

Survenant rarement en comparaison d'autres événements, certains risques naturels laissent peu de traces dans la mémoire collective. Cette méconnaissance conduit souvent à des choix d'aménagement et des comportements individuels ou collectifs inadaptés. Dès lors, comment entretenir la mémoire des catastrophes passées pour faire prendre conscience aux populations concernées que le risque existe ?

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Sur la base d'une analyse de retour d'expérience de nombreuses initiatives menées en France comme à l'étranger pour le maintien de la mémoire du risque, l'étude avait pour objectif d'étudier la faisabilité d'une signalétique dédiée aux risques géologiques présents en France et ayant marqué l'histoire locale par des événements de grande ampleur : séismes, éruptions volcaniques, mouvements de terrain ou avalanches, etc.

### Résultats

L'approche proposée repose sur un double niveau d'information :

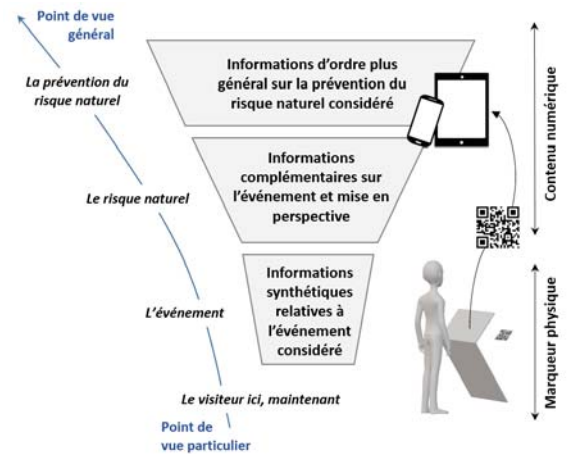
1. Des marqueurs physiques implantés sur le territoire ;
2. Des contenus numériques enrichis accessibles sur internet.

Ainsi, en partant du point de vue très local de l'observateur (« moi, ici, maintenant »), le marqueur de risque physique doit pouvoir l'inciter à élargir son point de vue et à s'engager dans la prévention par l'action volontaire de poursuivre sa consultation en ligne.

Un rapport dresse des recommandations pour la mise en place d'un tel dispositif de marqueurs, et illustre également ce à quoi ils pourraient ressembler.

### Applications

La méthodologie proposée pourrait utilement être reprise, et au besoin adaptée, pour la mise en œuvre de dispositifs de marqueurs de risques en France, qu'il s'agisse d'initiatives locales sur de petits territoires, ou au contraire de dispositifs de plus grande échelle. Les potentielles structures porteuses sont nombreuses : Etat, Régions, Départements, Communes, observatoires des risques naturels, associations, ...



Stratégie proposée « d'entonnoir inversé », via le recours à un contenu numérique en complément du marqueur physique – S. Auclair, BRGM



Illustration de ce à quoi pourrait ressembler un marqueur de risque (ici pour le séisme d'Arrette de 1967) – S. Auclair, BRGM

Pour en savoir plus :

<http://www.brgm.fr/projet/comment-garder-memoire-catastrophes-naturelles-preconisations-mise-place-marqueurs-memoriels>

***Proposition de poster Assises Nationales des Risques 2019 :***

Communication et information pour favoriser l'acceptation des PPR inondations

Brice MARTIN, Florie GIACONA, Benjamin FURST, CRESAT, Université de Haute – Alsace Mulhouse, [brice.martin@uha.fr](mailto:brice.martin@uha.fr)  
Emma HAZIZA, MAYANE Montpellier  
Pascal FROMEYER, DDT Bas-Rhin

En termes d'inondation, l'Alsace se trouve dans une situation particulière : le Haut-Rhin et le Bas-Rhin ont beau figurer parmi les 20 départements les plus à risque, le déficit en matière de culture du risque et de mémoire des inondations est très important. C'est lié, notamment, à l'histoire compliquée du territoire et à la relative rareté des événements dommageables : la dernière inondation à caractère régional remonte à 1990, une date suffisamment « lointaine » pour qu'une grande partie de la population en ait oublié l'occurrence. De plus, les grandes villes comme Strasbourg et Mulhouse, n'ont plus été inondées depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Cette situation contribue au désintérêt des acteurs pour le risque d'inondation, voire à sa négation pure et simple. D'où une levée de bouclier systématique et parfois virulente contre les procédures de PPR conduites depuis le début des années 2000, essentiellement dans le Haut – Rhin. Le Bas – Rhin affiche, lui, un retard certain, mais avec la volonté de le rattraper à marche forcée. Cinq PPR inondations sont ainsi en cours d'instruction, l'objectif étant d'aboutir à leur approbation d'ici à 2020. Face à un programme aussi chargé, il s'agissait dès le départ d'éviter au maximum les retards liés à un rejet, à une opposition à la procédure, comme pour les PPRI du Haut – Rhin. Le PPRI de la Doller, prescrit en 1997, approuvé en... 2014 était suffisamment significatif pour conduire les services de l'état à réfléchir au meilleur moyen de conduire efficacement l'instruction de ces nouveaux plans. Pour ce faire, on a réalisé un retour d'expérience sur les procédures de PPR en Alsace dans le cadre d'un partenariat entre la DDT du Bas – Rhin, service instructeur, les universitaires spécialistes des inondations historiques et la société MAYANE. Le déroulement des procédures antérieures a été passé au crible pour comprendre pourquoi certains PPR avaient été bien acceptés, d'autres non, afin de concevoir la méthode, les outils et les contenus adaptés à la géohistoire locale des risques, au territoire et à des acteurs en attente d'information, de concertation, de cohérence et, surtout, d'une inscription territoriale de la procédure.

Ce poster vise donc à expliquer comment ces retours d'expérience ont été mis à profit pour optimiser l'information et la communication relatives aux procédures en cours, dans un souci de pédagogie, d'appropriation, de responsabilisation et, in fine, de reterritorialisation d'un risque d'inondation perçu trop souvent comme exogène. Au-delà du dialogue et de la multiplication des réunions publiques, la démarche s'appuie sur une stratégie de communication uniformisée, sur la contextualisation géohistorique des inondations à une échelle très locale et la valorisation des savoirs locaux.

# Communication et information pour favoriser l'acceptation des PPR inondations

## Cas des PPRI du département du Bas-Rhin

Brice MARTIN, Florie GIACONA<sup>(1)</sup>  
 Emma HAZIZA<sup>(2)</sup>  
 Pascal FROMEYER<sup>(3)</sup>  
[brice.martin@uha.fr](mailto:brice.martin@uha.fr)

<sup>(1)</sup>CRESAT – UHA  
<sup>(2)</sup>MAYANE  
<sup>(3)</sup>DDT du Bas-Rhin



### Problématique opérationnelle, question posée :

Face à un objectif de réalisation rapide de 5 PPR inondation dans 156 communes du Bas-Rhin (Fig.1), quelle stratégie mettre en œuvre pour en favoriser l'acceptation et l'appropriation par le public ?

### Problématiques de recherche - objectifs - méthodes

En réponse à un appel d'offre de la DDT pour l'accompagnement de la présentation publique des procédures de PPRI, le bureau d'étude MAYANE s'est associé au laboratoire du CRESAT (Univ. de Mulhouse). Il s'agissait d'adapter la stratégie d'information et de communication au contexte alsacien (mémoire et culture du risque d'inondation). On s'est donc appuyé sur un retour d'expérience relatif aux PPR réalisés en Alsace depuis 1998, afin d'identifier les facteurs d'acceptation ou de rejet des procédures.

### Résultats (RETEX PPR instruits en 1998 et 2010)

**Acceptation** (rare) : conscience environnementale, connaissance géohistorique des inondations dans le territoire,... désintérêt !

**Opposition** (fréquente) : manque de concertation, d'information, d'explication et de pédagogie, illisibilité des procédures, sentiment d'inégalité territoriale/déclassement, procédure punitive/manque d'accompagnement, communication ratée...

**Manque de culture du risque** (méconnaissance, oubli, négation).

### Applications (Stratégie information/communication)

Communication (MAYANE) : charte graphique unique et attractive (personnalisation par cours d'eau, Fig.2).

Pédagogie/disponibilité (DDT) : visuels, vocabulaire, réalisations techniques, étapes, conséquences, recherche de solutions individualisées (+ 30 réunions publiques depuis 2017).

Reterritorialisation du risque (CRESAT, Fig.3) : histoire des PPRI, géohistoire des inondations dans chaque territoire, valorisation des savoirs locaux (légitimation de la procédure), chercheur=médiateur.

Pour en savoir plus (site web de la préfecture du Bas-Rhin relatif aux PPRI) : <http://www.bas-rhin.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-prevention-des-risques-naturels-et-technologiques/Risques/Risques-d-inondation/PPRI-en-cours-d-elaboration>

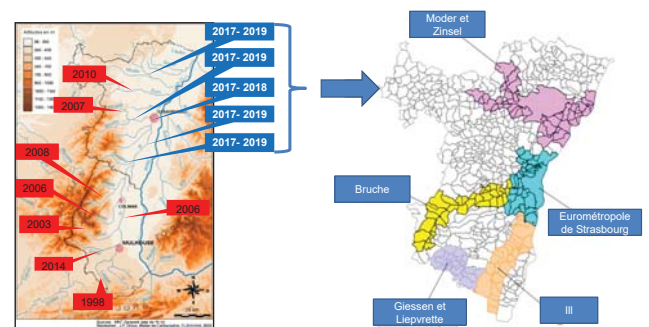


Fig.1 : les PPRI en Alsace. A gauche, les PPRI approuvés entre 1998 et 2010 (en rouge) et les PPRI en cours d'instruction (en bleu). A droite les communes concernées par les PPRI en cours d'instruction.



Fig.2 : Charte graphique, visuels et déclinaisons par cours d'eau



Fig.3 : éléments de reterritorialisation du risque d'inondation (réunions publiques)



## **APPUI DE LA RECHERCHE À LA GESTION DE CRISE LORS DE LA CRISE CYCLONIQUE DE SEPTEMBRE 2017 AUX ANTILLES**

Ywenn DE LA TORRE – BRGM, direction régionale Guadeloupe ;  
Benoit VITTECOQ – BRGM, direction régionale Martinique ;  
Jean-Marc MOMPÉLAT – BRGM, centre scientifique d'Orléans ;  
Thierry WINTER – BRGM, centre scientifique d'Orléans ;  
Sophie LECACHEUX – BRGM, centre scientifique d'Orléans.

Le BRGM, service géologique national et organisme de recherche de référence dans le domaine des géosciences n'est pas un organisme opérationnel de gestion des risques. En ce sens, il n'est pas organisé pour que son personnel et ses outils soit mobilisables H24 lors d'une crise.

Pour autant, lors de l'importante crise cyclonique qu'ont connue les Antilles en 2017, le BRGM a accompagné les services de l'Etat au niveau central (DGSCGC - Direction Générale de Sécurité Civile et de la Gestion de Crise du Ministère de l'Intérieur et DGPR – Direction Générale de la Prévention des Risques du Ministère de l'Ecologie) ainsi que régional (Préfectures, DEAL) en amont, pendant et après les cyclones IRMA et MARIA qui ont impacté respectivement les îles du Nord (Saint-Martin et Saint-Barthélemy) et la Guadeloupe ainsi que la Martinique dans une moindre mesure.

Pour ce faire, le BRGM a mobilisé les informations géographiques à sa disposition pour définir aux côtés de l'Etat les zones à évacuer en Guadeloupe et à Saint-Martin à l'approche des météores. Ensuite, des travaux de modélisation des submersions marines ont permis d'apporter une information plus précise afin de permettre à la protection civile de prioriser son action sur les zones davantage impactées en donnant les hauteurs d'eau attendues dans les secteurs clés sensibles. Enfin, des reconnaissances post-cycloniques ont pu être réalisées sur le terrain pour informer les autorités sur la nature des dommages et de garder la mémoire des impacts pour la mise à jour des documents de planification et la reconstruction. Ces informations ont été restituées à la DGPR, aux Préfectures, à la DEAL Guadeloupe et au CEREMA chargé de la cartographie des laisses de mer.

Cet appui a mobilisé le BRGM à la fois au sein des directions régionales antillaises ainsi qu'au centre scientifique d'Orléans où une cellule de crise a été mise en place. Il montre que sans se substituer à un organisme opérationnel comme Météo-France le BRGM peut apporter un soutien non négligeable à la gestion de crise notamment en ce qui concerne la prise en compte et la modélisation des vagues cycloniques dans les mécanismes de submersions marines.

# Crise cyclonique de septembre 2017 aux Antilles

## Appui à la gestion de crise et à la prévention des risques

Ywenn DE LA TORRE [y.delatorre@brgm.fr](mailto:y.delatorre@brgm.fr)  
 Benoit VITTECOQ [b.vittecoq@brgm.fr](mailto:b.vittecoq@brgm.fr)  
 Jean-Marc MOMPÉLAT [jm.mompelat@brgm.fr](mailto:jm.mompelat@brgm.fr)  
 Thierry WINTER [t.winter@brgm.fr](mailto:t.winter@brgm.fr)  
 Sophie LECACHEUX [s.lecacheux@brgm.fr](mailto:s.lecacheux@brgm.fr)

BRGM – Direction Régionale de Guadeloupe  
 BRGM – Direction Régionale de Martinique  
 BRGM – Centre scientifique d'Orléans



Au passage des cyclones IRMA et MARIA en septembre 2017, les questions des impacts attendus, de la mise en sécurité des biens et des personnes puis de la reconstruction sont primordiales pour la gestion de crise et la prévention des risques naturels par les services de l'Etat.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Le BRGM, service géologique national, développe la connaissance et les outils sur les risques littoraux de submersions marines et de recul du trait de côte.

L'ensemble des moyens (données historiques, SIG, modèles, expertise) ont été mobilisés pour appuyer les services de l'Etat, dans la gestion de cette crise qui a impacté les territoires français des Antilles, à savoir Saint-Martin, Saint-Barthélemy, la Guadeloupe et la Martinique.



Modélisation de la submersion marine pour IRMA en Guadeloupe

### Résultats

Les informations géographiques et historiques à disposition ont tout d'abord permis d'identifier les zones à évacuer.

Ensuite, des simulations numériques des submersions marines ont apporté des précisions sur les zones davantage impactées en donnant les hauteurs d'eau attendues dans les secteurs sensibles afin de permettre de prioriser les interventions.

Enfin, des reconnaissances post-cycloniques ont été réalisées pour recenser la nature des dommages et garder la mémoire des impacts pour la mise à jour des documents de planification.

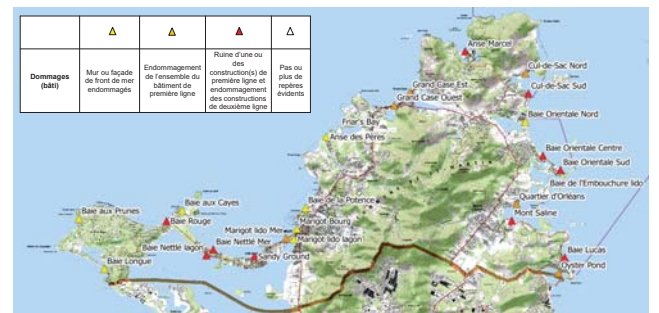


Reconnaitances post-Maria de l'érosion sur le littoral de Martinique

### Applications

Ces informations ont été restituées aux services de l'Etat en central (DGSCGC et DGPR) comme en local (Préfectures, DEAL) et au CEREMA.

Cet appui montre que sans se substituer à un organisme opérationnel comme Météo-France, le BRGM peut apporter un soutien non négligeable à la gestion de crise notamment en ce qui concerne la prise en compte et la modélisation des vagues cycloniques dans les mécanismes de submersions marines.



Inventaire des dommages post-IRMA sur le littoral à Saint Martin

#### Pour en savoir plus :

Rapport Iles du Nord IRMA: <http://infoterre.brgm.fr/rapports//RP-67291-FR.pdf>  
 Rapport Guadeloupe MARIA : <http://infoterre.brgm.fr/rapports//RP-67519-FR.pdf>  
 Rapport Martinique MARIA : <http://infoterre.brgm.fr/rapports//RP-67298-FR.pdf>

Le BRGM remercie R. Pedreros, S. Le Roy, A. Nachbaur, M. Lombard, Y. Legendre, L. Guillen, T. Lacaze, M. Bengoubou-Valérius pour leur contribution.

**Assises Nationales des Risques Naturels**  
**Montpellier, 25-26 mars 2019**  
**Appel à posters**

**Titre** : CRISI : Un outil numérique de collecte et relevé d'informations suite à une inondation

**Thème** : « Les nouvelles technologies »

**Auteurs** : Perherin Céline<sup>1</sup>, Guillevic Gwenaël<sup>2</sup>, Cazaubon Anaïs<sup>3</sup>, Poirier Hervé<sup>2</sup>, Bertrand Xavier<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cerema Eau, mer et fleuves, Département Environnement et risques, Technopôle Brest Iroise, 155 rue Pierre Bouguer, BP 5, 29280 PLOUZANE, France, [celine.perherin@cerema.fr](mailto:celine.perherin@cerema.fr)

<sup>2</sup>Cerema Ouest, Département Laboratoire et CECF d'Angers, 23, Avenue de l'Amiral Chauvin B.P. 69 49136 LES PONTS DE CE, France, tel : 02 41 27 51 32, [gwenael.guillevic@cerema.fr](mailto:gwenael.guillevic@cerema.fr), [herve.poirier@cerema.fr](mailto:herve.poirier@cerema.fr), [xavier.bertrand@cerema.fr](mailto:xavier.bertrand@cerema.fr)

<sup>3</sup>Cerema Ouest, Département des Transitions territoriales, M.A.N, Rue René Viviani 44262 NANTES, France, [anaïs.cazaubon@cerema.fr](mailto:anaïs.cazaubon@cerema.fr)

**Mots-clés** : Risque, inondation, crue, laisses d'inondation, outil numérique, collecte d'informations, relevés, Plus Hautes Eaux.

**Résumé** :

L'**outil CRISI Android** (Collecte et Relevé d'Informations Suite à une Inondation), développé par le Cerema, a pour objectif de faciliter les collectes par reconnaissances de terrain suite à une inondation, utiles à de nombreuses actions de prévention des inondations. Les utilisateurs potentiels sont ainsi nombreux : Services de prévision des crues, Bureaux d'études, Établissements publics, parmi lesquels les EPTB, collectivités, notamment les communes en charge de la pérennisation des repères d'inondations. Cet outil permet de collecter l'ensemble des laisses d'inondation (dont font notamment partie les Plus Hautes Eaux) renseignant sur le déroulement de l'inondation et de ses conséquences. Il assure rapidité et efficacité des collectes ainsi que la fiabilité et la qualité des données.

Il est composé :

- d'une **application Android** utilisée sur le terrain pour optimiser le temps passé sur chaque site visité. Il existe également une application sur **PDA** (Personal Digital Assistant).
- d'un **logiciel PC** utilisé au bureau pour valider et capitaliser les informations acquises sur le terrain et générer un rapport pré-renseigné.

**CRISI Android** permet donc de combiner sur smartphone ou tablette les différents équipements ou supports utilisés actuellement lors de collectes tout en agrégeant automatiquement les relevés réalisés sur site : les photographies sont indexées à leurs commentaires audio et texte et sont géo-référencées (azimut en fonction des caractéristiques de l'appareil).

Grâce à une forte diffusion d'appareils fonctionnant sous Android, le développement de cette application va permettre à un bon nombre d'utilisateurs le stockage des données et de leur sauvegarde ainsi que du transfert simple vers un PC sous Windows 10.

Le travail de compilation et de remise en forme des éléments relevés sur site est grandement facilité par le logiciel PC associé (« CRISI Bureau »). Celui-ci permet de récupérer directement des données collectées sur smartphone ou tablette, d'agréger plusieurs collectes, d'éditer l'ensemble des données (informations, photographies, positions...), et de les compléter grâce à d'autres sources d'informations. Il permet la

génération automatique d'un rapport pré-renseigné, modifiable ensuite par les collecteurs, et un export vers la base de données nationale Repères de crues avec laquelle les données collectées sont directement compatibles.

Le développement de cet outil fait suite à des travaux méthodologiques synthétisés dans un document intitulé *Collecte d'informations par reconnaissances de terrain suite à une inondation* (Cerema, 2017) dont la lecture préalable est fortement recommandée. Ce guide se base sur des retours d'expériences de collecte suite à des inondations. Il donne des éléments de méthode sur l'organisation, le matériel nécessaire, la procédure et la capitalisation des informations collectées.

Après une première phase de tests, l'outil numérique CRISI a vocation à être diffusé en 2019 à un premier cercle d'utilisateurs, avant une diffusion plus large. Des démonstrations de l'utilisation de CRISI pourront être réalisées lors des sessions posters des Assises aux personnes intéressées.



# CRISI

## Un outil numérique de collecte d'informations suite à une inondation

Céline Perherin<sup>1</sup>, Gwenaél Guillevic<sup>2</sup>,  
Hervé Poirié<sup>2</sup>, Anaïs Cazaubon<sup>2</sup>  
Celine.Perherin@cerema.fr,  
Gwenael.Guillevic@cerema.fr  
Herve.Poirie@cerema.fr  
Anais.Cazaubon@cerema.fr

Cerema Eau, mer et  
fleuves<sup>1</sup> et Ouest<sup>2</sup>

Centre d'études et d'expertise sur les risques,  
l'environnement, la mobilité et l'aménagement



### Problématique opérationnelle

- Faciliter la réalisation de retours d'expérience suite à une inondation
- Développer la collecte de Plus Hautes Eaux et de laisses d'inondation (traces de passage de l'eau, dommages...)
- Capitaliser de nouvelles données compatibles avec la base de données nationale repères de crues

### Des objectifs poussant à l'innovation

- Une simplicité d'utilisation
- La rapidité et l'efficacité des collectes
- Un matériel unique remplaçant appareil photo, GPS, bloc-note, crayon...
- La qualité et la fiabilité des données
- Un accès au plus grand nombre (gratuité)
- Un format de données compatible avec la base repères de crues  
→ un développement d'application sous Android

### Résultats

#### Sur le terrain

- Guidage des utilisateurs
- Réalisation de relevés GPS
- Prise de photographies géo-référencées
- Enregistrement de commentaires audio
- Formulaire de saisie

#### Au bureau

- Récupération des données
- Agrégation de plusieurs collectes
- Vérification, remise en forme des données
- Ajout de relevés
- Génération de rapports de collecte
- Export vers la base de données nationale

### Applications

- Un outil déjà utilisé en test, notamment suite à la crue de la Seine en Normandie en 2016
- Des utilisateurs potentiels nombreux : Services de prévision des crues, EPTB, DDT, communes, Bureaux d'études, Établissements publics...

#### Pour en savoir plus :

Collecte d'informations sur le terrain suite à une inondation. Guide méthodologique (Cerema, 2017)

Retrouvez-nous sur le stand Cerema ou contactez-nous à Crisi@cerema.fr pour tester !



Fonctionnement de l'outil et captures d'écran des applications Android et PC - Cerema

## **Crues torrentielles et embâcles de bois flottant : protection par barrages souples en filets**

N. VILLARD<sup>1\*</sup>, I. OLMEDO<sup>1</sup>, P. ROBIT<sup>1</sup>, S. LAMBERT<sup>2</sup>, M. SCHMITT<sup>3</sup>

<sup>1</sup> NGE FONDATIONS, Lyon [nvillard@nge.fr](mailto:nvillard@nge.fr) - <sup>2</sup> IRSTEA, Grenoble - <sup>3</sup> ONF RTM

### **ABSTRACT**

Les crues torrentielles, embâcles de bois flottant et dépôt de laves sont des phénomènes naturels complexes particulièrement dévastateurs occasionnant des dommages réguliers et importants aux biens et personnes (zones habitées, obstruction de ponts, centrales hydro-électriques, débâcle brutale...).

Il s'agit d'un écoulement d'eau et de matériaux solides affectant le lit de certaines rivières suite à des précipitations intenses et pouvant transporter des amas de flottants ou de rochers avec des volumes et des niveaux d'énergie importants.

Les solutions conventionnelles consistent souvent à piéger ces matériaux à l'amont par des ouvrages rigides en génie civil fondés en rivière (pieux, palplanches, barrage béton, voire dromes plus limitées). Les sites d'installation présentent souvent de fortes contraintes de réalisation en fond de lit : les terrassements et bétonnages sont très impactant sur l'environnement (perte de charge hydraulique, érosion régressive, vie aquatique...), l'accessibilité des engins est parfois limitée voire impossibles dans des gorges, enfin les coûts et délais d'installation / maintenance peuvent être élevés.

Afin d'intégrer ces contraintes, de nouveaux barrages souples contre les crues torrentielles ont été développés sur différents chantiers pilotes. Ils se présentent sous la forme d'une membrane en filet métallique (900 kN/m) supportées par des câbles porteurs ancrés dans les rives via des absorbeurs (< 40 t/u). Leur capacité de stockage peut atteindre 1000 m<sup>3</sup>, pour une hauteur souvent inférieure à 6 m et une largeur de 30 m. Une ouverture basale peut être ménagée en pied afin de ne pas intercepter les petites crues courantes ni générer ainsi de perturbations piscicoles. Ils nécessitent donc peu de moyens et présentent un faible impact environnemental.

Les connaissances sur les sollicitations et méthodes de dimensionnement sont aujourd'hui complétées par instrumentation / modélisation dans le cadre d'un projet de R&D interministériel (FUI) impliquant des partenaires institutionnels (IRSTEA, IFSTTAR) avec une portée opérationnelle à l'international.

Dans un contexte de risques accrus par le changement climatique, les premiers retours d'expérience confirment l'efficacité de cette alternative, parfois la seule option possible pour certains sites difficiles à équiper, non seulement sur des torrents de montagne mais de plus en plus fréquemment en zone fluviale ou littorale.



# Crues torrentielles, embâcles et bois flottant

## Protection par un barrage souple en filets de câbles

N. VILLARD ; I. OLMEDO ; P. ROBIT ;  
S. LAMBERT ; M. SCHMITT  
nvillard@nge.fr – +33 (0)6 85 12 17 32

NGE FONDATIONS Lyon (ex GTS)  
IRSTEA Grenoble  
ONF RTM Grenoble<sup>2</sup>



### Problématique opérationnelle, question posée :

Les ouvrages de protection contre les crues torrentielles / embâcles de bois flottant nécessitent souvent des moyens lourds et impactant des sites parfois sensibles et difficiles d'accès.



### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Les solutions conventionnelles consistent souvent à piéger les matériaux par des ouvrages rigides de génie civil fondés en fond de rivière : pieux, palplanches, barrage béton... (voire drome flottante ou dégrilleur pour des capacités plus limitées). Les terrassements ou bétonnages ont alors un fort impact environnemental (érosion régressive, vie aquatique, perte de charge hydraulique...), et les contraintes d'accès souvent difficile peuvent générer des coûts / délais élevés.



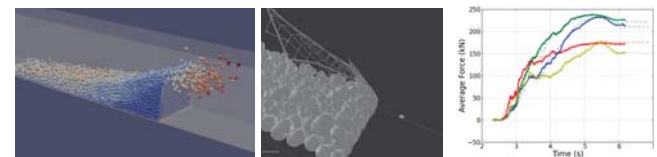
Exemple d'embâcle et de piège conventionnel en GC

### Résultats

Afin d'offrir une alternative pour certains cas très spécifiques, de nouveaux barrages souples ont été développés : ils comportent un filet métallique HR (90 t/m) supporté par des câbles porteurs ancrés dans les rives via des absorbeurs (40 t/u). Une ouverture basale peut être ménagée en pied afin de n'intercepter que certaines crues, limitant ainsi les perturbations et l'entretien. Dans le cadre d'un projet FUI de R&D, les connaissances sur les sollicitations et méthodes de dimensionnement font l'objet d'instrumentation / modélisation afin de transposer les résultats à l'ingénierie opérationnelle.



Fonctionnement type et composants



Aperçus modélisation

### Applications

Plusieurs phénomènes peuvent ainsi être traités :

- Embâcles / bois flottant
- Laves torrentielles
- Coulées de boue
- Coulées de neige

Dans un contexte de risques hydrauliques accrus par le changement climatique, cette option est parfois la seule possible pour des sites fortement contraints y compris en rivière, zone fluviale ou littorale.



Exemples d'ouvrages et de mise en œuvre

Pour en savoir plus : <https://www.lemoniteur.fr/article/risques-naturels-de-nouveaux-ouvrages-de-securite-en-developpement.1194714>

## Déchets post-aléa climatique : quantifier et cartographier pour mieux gérer

### Liste des auteurs :

Aïden Short : Président Urban Resilience Platform, expert Déchets, [aiden@urplatform.eu](mailto:aiden@urplatform.eu)  
 Cédric Ardoin : Chief Technical Officer, [cedric@urplatform.eu](mailto:cedric@urplatform.eu)  
 Guillaume Iablonovski : Chief Spatial Officer, [guilherme@urplatform.eu](mailto:guilherme@urplatform.eu)  
 Frédérique Pradignac : Responsable marché France, expert Déchets, [frederique@urplatform.eu](mailto:frederique@urplatform.eu)

### Personne à contacter :

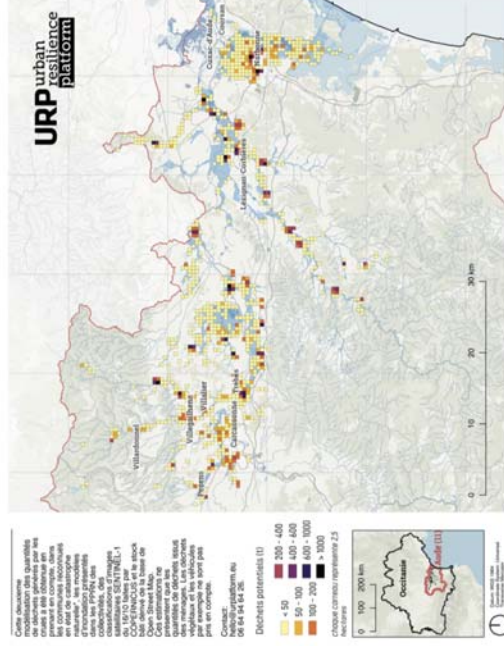
Frédérique Pradignac : [frederique@urplatform.eu](mailto:frederique@urplatform.eu)  
 06 17 25 43 44

### Résumé :

Parce qu'il est urgent de se préparer au retour à la normale après une catastrophe, nous réalisons des modélisations des quantités de déchets générés par les crues par exemple. Des premières estimations peuvent être réalisées lors de la survenance de l'aléa en prenant en compte les données issues des plans de prévention des risques naturels et le stock bâti dérivé de la base de *Open Street Map*, présentant les dégâts qui seraient produits par une crue centennale. Puis nous affinons nos estimations en prenant en compte les images satellitaires SENTINEL-1 réalisées par COPERNICUS. Ces images permettent de visualiser et d'identifier précisément les territoires impactés par les inondations. Nous les combinons également lorsque cela est possible avec les arrêtés portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle qui fixent la liste des communes concernées. Nous réalisons des cartes permettant de localiser les lieux les plus impactés et de quantifier les déchets générés :

## Estimation du Gisement de Déchets des Inondations de l'Aude

19 octobre 18h00



# Déchets post-aléa climatique

Quantifier et cartographier pour mieux gérer

Frédérique Pradignac Cédric Ardoin  
 frederique@urplatform.eu cedric@urplatform.eu  
 Aiden Short Guilherme Iablonovski  
 aiden@urplatform.eu guilherme@urplatform.eu

Urban Resilience Platform  
 URP

URP urban resilience platform

**Problématique opérationnelle, question posée :**  
**Comment améliorer la gestion des déchets de catastrophe ?**  
 Volume de **5 à 15 fois** le volume annuel  
**Obstacle** majeur aux actions de reconstruction et de relèvement

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Comment quantifier les quantités de déchets pouvant être générés ?

**Méthode :** concaténation de données issues des **PPRN**, d'**Open Street Map**, d'images satellitaires Sentinel et Copernicus, des arrêtés portant reconnaissance de catastrophe naturelle, MECADePi via le **M<sup>3</sup> Tool** (Material-Movement Management Tool)  
**Objectif :** localiser et chiffrer les volumes de déchets

## Résultats

Quantification et localisation des plus gros enjeux en matière de gestion de déchets. Représentation de ces résultats de manière cartographique pour faciliter la prise de décision rapide et bien fondée.

## Applications

Informations utiles aux **collectivités** responsables de la gestion des déchets

Utilisations possibles :

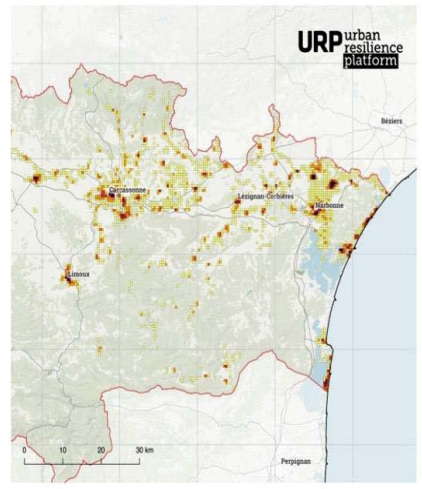
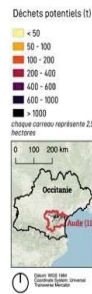
- **préparation** à la survenance d'un aléa,
- promotion de la **résilience** d'un territoire,
- **scénarisation** de différents modes opératoires pour la gestion post-aléa.

Pour en savoir plus :  
[www.urplatform.eu](http://www.urplatform.eu)

### Estimation du Gisement de Déchets des Inondations de l'Aude 15 octobre 18h00

La première modélisation des quantités de déchets générés par les crues a été obtenue en prenant en compte le modèle d'inondation issu de la DREAL Rhône-Alpes et le stock bâti obtenu de la base de Open Street Map, présentant les dégâts qui seraient générés par une crue centennale. Ces estimations ne présentent que les quantités de déchets issus des ménages.

Contact: helio@urplatform.eu / 04 64 94 44 20

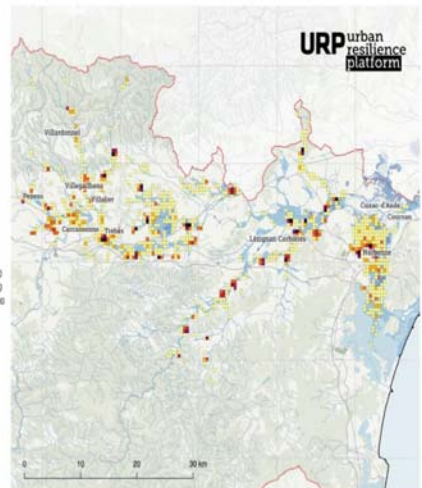
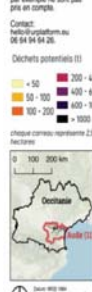


Sorties indicatives du modèle  
 Estimation de **82 879 t** de déchets dans le département  
 Pour obtenir ce chiffre, un ratio entre les m<sup>2</sup> d'emprise au sol potentiellement impactés par les crues et la moyenne de surface habitable par foyer a été utilisé, indiquant ainsi le nombre de foyers potentiellement impactés. Ce nombre a ensuite été multiplié au taux de gisement des déchets figurant dans le MECADePi (Méthode d'évaluation et de caractérisation des déchets post-inondation développée par le Cerp).  
 Soyez éveillés pour être au courant des événements.

### Estimation du Gisement de Déchets des Inondations de l'Aude 19 octobre 18h00

Cette deuxième modélisation des quantités de déchets générés par les crues a été obtenue en prenant en compte, dans les communes reconnues en état de catastrophe naturelle, les résultats d'inondation présentés dans les PPRN des collectivités, des observations d'images satellitaires SENTINEL-1 et de 1615 photos par COPERNICUS et le stock bâti obtenu de la base de Open Street Map. Ces estimations ne présentent que les quantités de déchets issus des ménages. Les déchets agricoles et les véhicules par exemple ne sont pas pris en compte.

Contact: helio@urplatform.eu / 04 64 94 44 20



Sorties indicatives du modèle  
 Estimation de **79 456 t** de déchets dans le département  
 dont déchets ménagers : **42 261 t**  
 dont aménagements : **21 457 t**  
 dont déchets dangereux : **300 t**  
 dont déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) : **6 437 t**  
 Pour obtenir ce chiffre, un ratio entre les m<sup>2</sup> d'emprise au sol potentiellement impactés par les crues et la moyenne de surface habitable par foyer a été utilisé, indiquant ainsi le nombre de foyers potentiellement impactés. Ce nombre a ensuite été multiplié au taux de gisement des déchets figurant dans le MECADePi (Méthode d'évaluation et de caractérisation des déchets post-inondation développée par l'URP et le Cerp).  
 Soyez éveillés pour être au courant des événements.

Cartes produites lors des inondations de l'Aude en 2018 - URP



## POSTER 2

### Outils de sensibilisation au risque inondation

- Renaud COLIN, directeur adjoint du développement et de la gestion territorialisée (correspondant pour ce poster [renaud.colin@eptb-loire.fr](mailto:renaud.colin@eptb-loire.fr) / 02.46.47.03.18) – Emerentienne GALTIER, chargée de mission ; Etablissement public Loire.

Sur le bassin fluvial de la Loire et ses affluents, plus de 20 000 entreprises et de nombreux sites ou biens du patrimoine culturel sont situés en zones inondables. Les dommages potentiels sur les activités qui en découlent en cas de crue exceptionnelle se chiffrent en milliards d'euros. Cet enjeu majeur nécessite d'y porter une attention particulière, en renforçant la sensibilisation au risque inondation.

Dans le prolongement d'opérations qu'il a déjà conduites, l'Etablissement public Loire a pris l'initiative de nouvelles actions d'information/sensibilisation pour contribuer à la réduction de la vulnérabilité au risque inondation des entreprises et des exploitations agricoles, ainsi que des biens du patrimoine culturel, en cherchant toujours à favoriser les interventions par voie d'adhésion et en s'appuyant sur des dispositifs d'incitation et des processus volontaires.

Il a ainsi réalisé, avec le soutien financier de l'Europe (FEDER), deux outils d'autodiagnostic, à destination : l'un, des acteurs économiques, l'autre, des propriétaires/gestionnaires de biens culturels.

A partir d'une cartographie dynamique mise à disposition en ligne, les [autodiagnostic simples, rapides \(moins de 30 minutes\) et gratuits](#) permettent au chef d'entreprise ou au propriétaire/gestionnaire de bien culturel de vérifier, à partir de son adresse, s'il est localisé en zone inondable, avec une indication de hauteur d'eau. Si tel est le cas, il l'aidera à partir d'un questionnaire à identifier les mesures qui pourraient être mises en place pour limiter les dommages en cas d'inondation.

Pour les **acteurs économiques**, le questionnaire est décliné selon la nature de l'activité (entreprises ou exploitations agricoles), celui-ci les aide ensuite à réaliser leur autodiagnostic et les oriente vers des mesures adaptées à leur situation, permettant de limiter les dommages en cas d'inondation. Le questionnement traite à la fois des accès/réseaux, de l'activité, des bâtiments et installations électriques, des équipements/matériels/stocks, du volet organisationnel, ainsi que de la perte d'exploitation.

Dans le même objectif, pour les **propriétaires/gestionnaires de biens culturels**, le questionnaire se décompose en 3 parties : définition du scénario d'inondation en fonction de la localisation, identification des vulnérabilités du bien diagnostiqué et préconisation de mesures adaptées, afin de limiter les dommages. Il est à noter que cet outil a été présenté au dernier Forum européen pour la réduction des risques de catastrophe organisé par l'Organisation des Nations Unies à Rome en novembre 2018.

<https://autodiagnostic-entreprises.eptb-loire.fr>  
<http://autodiagnostic-patrimoine.eptb-loire.fr/>

# Des outils didactiques de sensibilisation au risque inondation

sur le bassin de la Loire et ses affluents

Renaud COLIN  
Emérentienne GALTIER

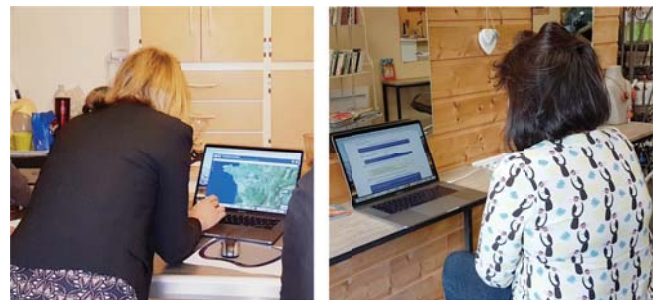
Etablissement public Loire



Sur le bassin fluvial, plus de 20 000 entreprises et de nombreux sites ou biens patrimoniaux sont situés en zones inondables. Les dommages potentiels en cas de crue exceptionnelle se chiffrent en milliards d'euros. Ces enjeux majeurs nécessitent de renforcer la sensibilisation au risque inondation, dans une logique de réduction de la vulnérabilité.

## Problématiques de recherche - méthodes – objectifs

Dans le prolongement des opérations qu'il a déjà conduites, l'Etablissement public Loire a pris l'initiative de nouvelles actions d'information/sensibilisation au risque inondation des entreprises et des exploitations agricoles, ainsi que des biens du patrimoine culturel, en cherchant toujours à favoriser les interventions par voie d'adhésion et en s'appuyant sur des dispositifs d'incitation visant à impliquer chacun autour de ses intérêts propres.



Tests de l'autodiagnostic « entreprises », Avril-Mai 2018 – EP Loire

## Résultats

Deux outils d'autodiagnostic ont ainsi été développés : l'un pour les acteurs économiques, l'autre pour les propriétaires/gestionnaires de biens culturels. A partir d'une cartographie dynamique en ligne, les autodiagnostic simples, rapides et gratuits permettent de vérifier la localisation au regard de la zone inondable. Si tel est le cas, le questionnaire permet alors d'identifier les mesures qui pourraient être mises en place pour limiter les dommages en cas d'inondation.



Visuel de l'autodiagnostic « entreprises », Juillet 2018 – EP Loire

## Applications

Ces deux outils semblent constituer un potentiel terrain d'études pour un organisme de recherche en sciences comportementales, notamment dans une perspective d'efficacité de la communication du risque inondation vers les acteurs économiques.

La démarche sur le patrimoine culturel a été présentée au dernier Forum européen pour la réduction des risques de catastrophe organisé par l'ONU à Rome en novembre 2018.



Test de l'autodiagnostic « patrimoine », Juin 2017 – EP Loire

Pour en savoir plus :

<https://autodiagnostic-entreprises.eptb-loire.fr>

<http://autodiagnostic-patrimoine.eptb-loire.fr>



## Détection de cavités souterraines en milieux urbain par microgravimétrie : apport et nécessité des corrections anthropiques (bâti, caves...)

T. Jacob <sup>1</sup>, P. Pannet <sup>2</sup>, Y. Hannion <sup>3</sup>, F. Beaubois <sup>1</sup>

<sup>1</sup> BRGM, Direction Risques et Prévention, Imagerie Géophysique et Télédétection, Orléans

<sup>2</sup> BRGM, Direction régionale Hauts-de-France, Site de Lille

<sup>3</sup> BRGM, Délégation régionale Grand-Est, Site de Reims

Contact : T. Jacob

---

On estime à près de 500 000 le nombre de cavités souterraines, naturelles ou anthropiques, potentiellement présentes dans le sous-sol français. En plus d'une répartition très inégale, liée à la nature des sols et/ou aux activités humaines, une partie de ces cavités n'est pas répertoriée. Ces cavités constituent alors un risque d'effondrement potentiel, en particulier en milieux urbains ou péri-urbains, où les enjeux présents en surface sont nombreux. De nombreuses collectivités sont aujourd'hui confrontées à une gestion de ce risque, qui passe par la reconnaissance des cavités non répertoriées.

Le BRGM intervient pour l'inventaire, la détection et la caractérisation des cavités souterraines. Parmi les nombreux outils dont il dispose, la méthode gravimétrique s'impose comme une technique robuste et efficace pour la détection de cavités non répertoriées et/ou inaccessibles. Cette méthode, non invasive, vise à mesurer les variations de la pesanteur terrestre liées à la présence de vides sous la surface. En effet, un vide constitue un défaut de masse qui fait localement décroître le champ de pesanteur terrestre, générant une anomalie qu'il est possible de mesurer.

Une des difficultés de la microgravimétrie en milieu urbain est que les excès et défauts de masses liés au bâti – murs des bâtiments, dalles des fondations et des étages, structures souterraines de type caves ou parking – ont un effet gravifique dont l'amplitude peut être supérieure au signal recherché, pouvant ainsi le masquer. Par le passé, la méthode microgravimétrique était de fait exclue en ville, car les effets anthropiques étaient mal corrigés.

Dans ce contexte, le BRGM a récemment développé des codes de corrections des bâtiments et des caves qui permettent aujourd'hui de réaliser des cartographies microgravimétrique en milieu urbain, offrant ainsi aux collectivités un outil efficace de détection de cavités souterraines.

Nous présentons ici une étude microgravimétrique dans le centre-ville de Reims (51), pour le compte de la mairie de Reims, mettant en œuvre ces développements. Nous montrons que les effets anthropiques sont dominant et brouillent le signal recherché, et que notre méthodologie permet de corriger ces effets de manière satisfaisante, révélant ainsi des anomalies difficilement identifiables au préalable. Certaines de ces anomalies, après vérification par sondage, se sont avérées être des cavités non recensées.

La méthodologie ainsi développée permet d'optimiser la détection des cavités en ville, pour une meilleure gestion du risque cavité pour les collectivités.



# Détection de Cavités Souterraines en Milieu Urbain par Microgravimétrie

## Apport et Nécessité des Corrections Anthropiques (bâti, caves...)

T. Jacob <sup>1</sup>, P. Pannet <sup>2</sup>,  
Y. Hannion <sup>3</sup>, F. Beaubois <sup>1</sup>  
Contact: t.jacob@brgm.fr

<sup>1</sup> BRGM, Direction Risques et Prévention, Orléans  
<sup>2</sup> BRGM, Direction régionale Hauts-de-France, Site de Lille  
<sup>3</sup> BRGM, Délégation régionale Grand-Est, Site de Reims



Améliorer la **capacité de détection des cavités souterraines** en milieu urbain par la méthode géophysique **microgravimétrie**, en corrigeant les effets perturbateurs des excès et défauts de masses anthropiques : bâtiments et structures souterraines connues.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

De nombreuses collectivités sont confrontées à une gestion du risque cavité en ville, dont l'évaluation passe par la reconnaissance des cavités non répertoriées.

La microgravimétrie est une technique robuste et efficace pour la détection de cavités depuis la surface. Cette méthode, non invasive, mesure les variations de la pesanteur terrestre liées, entre autres, à la présence de vides sous la surface. Une des difficultés de la méthode en ville est que les excès et défauts de masses liés au bâti et aux structures souterraines (caves, parking...), ont un effet gravifique dont l'amplitude peut être supérieure au signal recherché, pouvant ainsi le masquer. L'objectif du travail de recherche est de développer un outil pour corriger les effets perturbateurs des structures anthropiques, afin de mieux déceler les cavités recherchées.

### Résultats

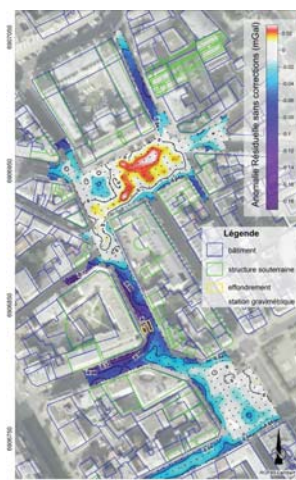
Un outil logiciel a été développé par le BRGM, permettant de corriger efficacement les effets du bâti (murs, dalles des fondations et des étages) ainsi que ceux des structures souterraines connues (caves, sous-sols, parkings...). Cette méthodologie a été appliquée avec succès pour la ville de Reims (51), dans le secteur de l'hôtel de Ville.

### Applications

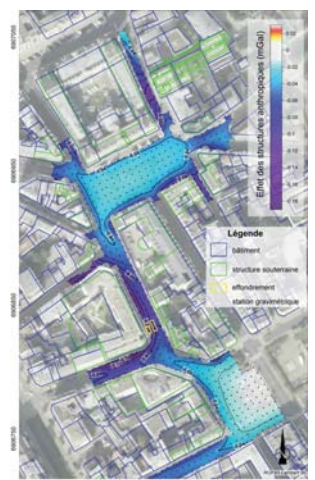
La méthodologie ainsi développée permet d'optimiser la détection des cavités en ville, pour une meilleure gestion du risque cavité pour les collectivités. Une perspective est le couplage de cette méthode avec le levé topographique 3D des cavités et des bâtiments, pour une correction encore plus précise.

Pour en savoir plus :

Rapport BRGM RP-66081-FR



Anomalie gravimétrique résiduelle sans correction des effets anthropiques © BRGM



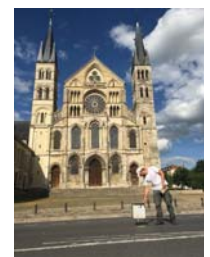
Effet des structures anthropiques modélisées © BRGM



Anomalie gravimétrique résiduelle après correction des effets anthropiques © BRGM



Cavité découverte par forage au sein d'une anomalie gravimétrique © GINGER CEBTP



Mesure microgravimétrique avec un gravimètre CG-3 © BRGM

---

## Assises nationales des risques naturels 25 et 26 mars 2019 à Montpellier

### Titre du poster :

# Développer la culture du risque inondation en suscitant des projets innovants

Premier bilan de l'appel à projets Plan Rhône 2018-2019

### Auteur à contacter pour toute communication relative aux Assises :

Pauline BUSSON –DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, Service Bassin Rhône Méditerranée et Plan Rhône /  
Pôle Plan Rhône  
Chargée de mission Plan Rhône  
Tel : 04 26 28 67 23

[pauline.busson@developpement-durable.gouv.fr](mailto:pauline.busson@developpement-durable.gouv.fr)

### Autre auteur :

Manon MIZZI –DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, Service Bassin Rhône Méditerranée et Plan Rhône / Pôle  
Plan Rhône  
Chargée de mission Plan Rhône  
Tel : 04 26 28 67 22

[manon.mizzi@developpement-durable.gouv.fr](mailto:manon.mizzi@developpement-durable.gouv.fr)

### Résumé du poster :

Le volet « Inondations » du Plan Rhône, piloté par la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, soutient des actions de culture du risque. Visant différents publics sur les axes Rhône et Saône, et mobilisant des leviers innovants tels que sondages, démarches artistiques et nouvelles technologies de l'information, ces actions permettent de mieux sensibiliser, informer et impliquer les populations riveraines, contribuant ainsi à améliorer leur résilience aux inondations.

Depuis 2006, le Plan Rhône réalise un sondage triennal sur la perception du risque inondation auprès des populations riveraines du Rhône. Environ 3 000 personnes sont interrogées via une enquête téléphonique, sur différents aspects de l'appréhension du risque : la mémoire des crues, les moyens d'information, les comportements à adopter, la pertinence des politiques de gestion du risque et de leur mise en œuvre. Ces enquêtes permettent d'estimer le niveau de sensibilisation de la population sur ces différents points et d'en mesurer l'évolution. Ainsi, on a pu observer que – en l'absence d'inondations d'ampleur – la préoccupation des riverains face aux inondations s'érode progressivement (-10 points entre les sondages de 2006 et 2009 et celui de 2012).

Ces résultats confirment l'intérêt de compléter les démarches institutionnelles d'information préventive en proposant aux habitants d'autres formes de sensibilisation.

Un appel à projets a donc été lancé en 2017 afin de mobiliser de nouveaux acteurs autour de trois thématiques : mémoire et conscience du risque, connaissance et compréhension du fleuve, et préparation à la crise et bonnes pratiques. L'ambition était de susciter des démarches originales ou innovantes.

10 projets ont été retenus sur 40 candidatures. Ils sont portés par des associations, collectifs artistiques, structures d'éducation à l'environnement, de recherche ou collectivités. Le montant total financé s'élève à 1,68 millions d'euros.

Les projets se distinguent par leurs cibles : grand public, milieu scolaire mais aussi élus locaux. L'ensemble de l'axe Rhône et Saône en bénéficie, sur les années 2018 et 2019. Il faut souligner l'innovation des vecteurs de sensibilisation mobilisés par les projets, qui s'appuient grandement sur les nouvelles technologies. De nombreux projets ont choisi de mobiliser le vecteur du jeu pour sensibiliser leur public. Enfin, quasiment tous les projets ont recherché une véritable interaction avec le public des territoires visés, en le rendant acteur du projet.

Afin de valoriser ces projets et favoriser la réflexion sur la culture du risque, la DREAL a organisé le 11 décembre 2018 une journée d'échanges mobilisant plus de 200 acteurs.

# Développer la culture du risque inondation en suscitant des projets innovants

## Premier bilan de l'appel à projets Plan Rhône 2018-2019

Pauline BUSSON

Manon MIZZI

[Pauline.busson@developpement-durable.gouv.fr](mailto:Pauline.busson@developpement-durable.gouv.fr)

[Manon.mizzi@developpement-durable.gouv.fr](mailto:Manon.mizzi@developpement-durable.gouv.fr)

DREAL Auvergne-Rhône-Alpes



Plan Rhône



### Problématique opérationnelle, question posée :

L'information préventive est un élément essentiel de la prévention des inondations, mais elle n'est pas suffisante pour développer une véritable culture du risque. Le Plan Rhône a donc choisi de favoriser des démarches innovantes pour sensibiliser la population au risque inondation.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

- **Contexte** : Le sondage de 2016 sur la perception du risque inondation des riverains du Rhône et de la Saône montre qu'encore 1 personne sur 2 ne sait pas qu'elle vit en zone inondable. Il est donc légitime de favoriser l'émergence de projets susceptibles de développer cette connaissance du risque et son appropriation par la population. Depuis 2006, le Plan Rhône soutient des projets mobilisant l'art, le jeu et les nouvelles technologies de l'information pour sensibiliser au risque inondation. L'appel à projets lancé en 2017 s'inscrit dans la continuité de cette démarche.
- **Objectifs** : susciter des projets innovants :
  - ancrés aux territoires car adaptés au contexte local et réalisés en partenariat avec les acteurs locaux
  - innovants car mobilisant des approches sensibles capable d'interpeller le public et de transformer son rapport au risque



Carte des manifestations organisées sur le territoire DREAL Auvergne – Rhône – Alpes

### Résultats

- **10 projets** retenus pour un montant subventionné total de **1,7M€**
- grande **diversité de porteurs** : association, collectif artistique, structure d'éducation à l'environnement, établissements d'enseignement et de recherche, collectivités
- **propositions variées** : expositions et animations pédagogiques, parcours photographiques, installations insolites, spectacles-expériences, création d'outils/jeux de sensibilisation
- **plus de 40 manifestations** organisées le long du Rhône et de la Saône en **2018 et 2019**



Expéditions Renversantes – Représentation à Avignon  
ONG Bleu Versant

### Applications

- Suite à l'AAP : organisation d'une journée d'échanges sur cette thématique le 11 décembre 2018 à Avignon
- projets remobilisables ou reproductibles avec adaptation aux territoires visés



La Balade des Hydromachines – Représentation au parc de Miribel  
Oxalis – Pôle N

Pour en savoir plus :

[www.planrhone.fr](http://www.planrhone.fr) : pages relatives à l'appel à projet « Culture du risque inondation Rhône Saône » et à la journée « Inondation, vers une culture accrue »



## Drone ou ULM, lidar ou photogrammétrie : quels outils sont adaptés pour la gestion des anciens sites miniers et pour quels usages ?

Thomas Dewez <sup>a\*</sup> ; Benjamin Pradel <sup>b\*</sup> ; Michel Assenbaum <sup>b</sup> ; Marie de Boisvilliers <sup>b</sup> ; Valérie Guérin <sup>c</sup> ; Valérie Laperche <sup>c</sup> ; Yannick Thiery <sup>a</sup> ; Florian Masson <sup>a</sup> ; Olivier Faure <sup>d</sup> ; Frédéric Paran <sup>d</sup> ; Louis de Lary de Latour <sup>e</sup>

<sup>a</sup> BRGM – Direction Risques et Prévention

<sup>b</sup> L'Avion Jaune, 1 chemin du Fescau, 34980 Montferrier sur Lez

<sup>c</sup> BRGM – Direction Eau, Environnement et Ecotechnologies

<sup>d</sup> Ecole des Mines de Saint-Etienne – Sciences des Procédés Industriels et Naturels

<sup>e</sup> BRGM – Direction des Risques et Prévention – Département de Prévention et de Sécurité Minière

\* contacts : [t.dewez@brgm.fr](mailto:t.dewez@brgm.fr); [info@lavionjaune.fr](mailto:info@lavionjaune.fr)

### Résumé :

Depuis plusieurs années, la cartographie par drone s'est largement développée en France.

Le projet **SODA-Suivi Opérationnel par Drone d'un Ancien site minier phytostabilisé**, soutenu par l'ADEME, et bénéficiant du soutien logistique du gestionnaire du site, évalue l'apport des technologies aériennes dans la gestion opérationnelle d'un site minier réhabilité.

Pour de la photographie aérienne classique, un avion léger de type ULM couvre 350 ha en 2 à 3 h de vol pour produire une orthophoto et un modèle numérique de surface (MNS) photogrammétrique. En quelques dizaines d'heures, une orthophoto à 8-10 cm de résolution et un MNS à 40 cm suffisent pour initier une campagne de terrain quand l'information *immédiate* prime sur l'information *résolue*. Après un traitement approfondi, l'orthophoto couleur optimale atteint 4-5 cm de résolution et 8-9 cm pour le MNS. L'orthophoto révèle explicitement les surfaces recolonisées par la végétation et les désordres présents sur le site : zones de sols nus à érosion diffuse ou d'accumulation de fines, ravinements, mouvements gravitaires. Le relief du MNS permet une visualisation 3D du site et la reconnaissance de la topographie globale (versants, fossés, macro-formes). Grâce à l'ULM, la cartographie est opérationnelle jusqu'à une échelle de 1/100 sur 350 ha, avec des contraintes réglementaires beaucoup moindres qu'avec un drone.

Pour le suivi de détail, à raison de 50 ha/jour, un drone offre quant à lui, une résolution beaucoup plus élevée. Equipé d'un couple d'appareil photo couleur/proche infra-rouge, le drone permet d'augmenter la résolution de l'orthophoto et du MNS à 15-18 mm. Le canal proche infra-rouge, sensible à l'activité chlorophyllienne, révèle la végétation (p.ex. par NDVI). Par drone, l'échelle de cartographie opérationnelle atteint le 1/50 sur 50 ha.

Enfin, pour calculer l'écoulement de l'eau et les flux de sédiments, un lidar monté sur drone, ici YellowScan Surveyor de fabrication française, mesure simultanément l'altitude du couvert végétal et du sol avec ~200 pts/m<sup>2</sup>. Après classification des points 3D mesurés, un MNS, contenant la canopée, et un modèle numérique de *terrain*, ne retenant que l'altitude des points au sol, sont produits à une résolution de 10-30 cm, utile jusqu'au 1/500, pour une superficie de 50 ha. En cas d'intempéries majeures, un nouveau survol suffit à calculer la différence de relief pour cibler les travaux nécessaires.

En conclusion, la photogrammétrie par ULM est extrêmement performante pour le suivi opérationnel de sites. Le lidar par drone lui ajoute une information critique pour le routage des eaux de surface.

# Drone ou ULM ? Lidar ou Photogrammétrie ?

Quelles technologies pour le suivi opérationnel d'anciens sites industriels ?

[Thomas Dewez, V. Guérin, Y. Thiery, V. Laperche, F. Masson, L. de Lary]<sup>1</sup> [B. Pradel, Michel Assenbaum, M. de Boisvilliers]<sup>2</sup> [O. Faure, F. Paran]<sup>3</sup> [t.dewez@brgm.fr](mailto:t.dewez@brgm.fr)

BRGM - Dir Risques & Dir Eau, Env. Ecoproc.  
L'Avion Jaune, <http://lavionjaune.fr/>  
Ecole des Mines de Saint Etienne



## Suivi opérationnel d'un ancien site industriel réhabilité :

L'ADEME soutient SODA, un projet testant les techniques de mesure aériennes du marché pour accompagner la gestion opérationnelle de sites réhabilités

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

La préoccupation des gestionnaires d'anciens sites réhabilités est de disposer de méthodes de suivi leur permettant de démontrer l'efficacité des mesures prises pour limiter l'export de matières polluées vers l'environnement : intégrité des confinements, limitation de l'érosion (y compris de sols faiblement contaminés) par la végétalisation. L'objectif est donc de démontrer la performance de surveillances aériennes régulières en déterminant les technologies à utiliser selon les phénomènes et l'échelle de travail visés.

### Résultats

Une orthophoto (ortho) couleur réalisée au maximum de végétation et avec un éclairage solaire propice (rasant pour accentuer l'ombre des microreliefs) renseigne sur la présence de végétation (et sa progression) ou de sol nu (et son érosion éventuelle).

Un modèle de surface photogrammétrique révèle l'érosion concentrée (ravines) en zone de sol nu et la hauteur de la végétation (végétation à racine pivotante).

Un modèle numérique de terrain (MNT) lidar donne le relief, y compris sous la végétation, pour calculer l'écoulement théorique de l'eau et l'érosion.

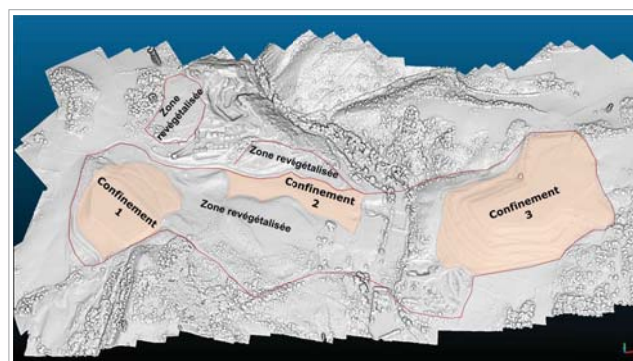
L'ULM couvre la totalité d'un site de 350 ha en quelques heures pour une échelle de restitution du 1/500. Le drone couvre 50ha/jour pour une échelle de restitution allant jusqu'à 1/50. L'offre du marché est adaptée au besoin. La masse de données produites peut limiter l'usage. L'apport au suivi de la végétation est en cours de développement.

### Applications

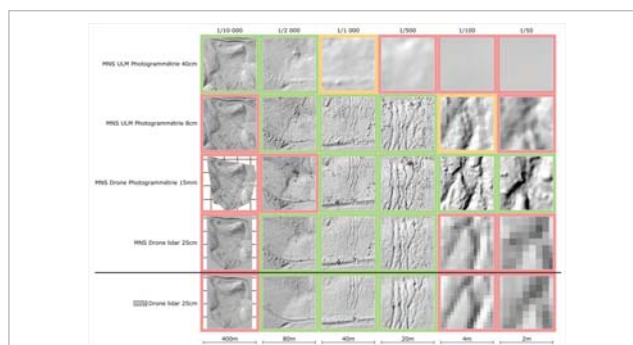
Suivi de sites à enjeu environnemental (industriel, friche, littoral)

#### Pour en savoir plus :

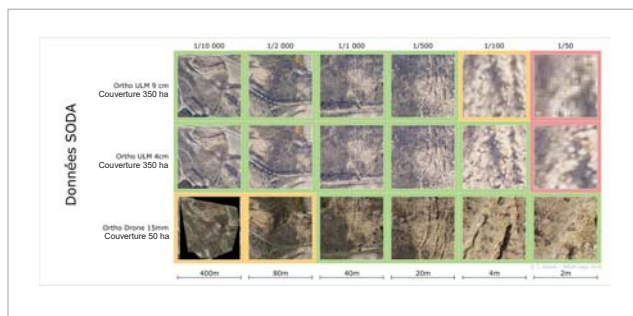
Des résultats plus détaillés seront présentés lors des 4<sup>e</sup> Rencontres Nationales de la Recherche sur les Sites et Sols pollués (26-27/11/2019) au Beffroi de Montrouge avec des articles de Dewez et al. (général), Pradel et al. (méthodes aériennes), Thiery et al. (érosion et charge en métaux) et Faure et al. (botanique et phytoremédiation).



Relief du site d'étude (350ha) acquis par ULM – © T. Dewez BRGM



Comparaison des relief par porteur/méthode/échelle – © T. Dewez BRGM



Comparaison des rendus photo par porteur/emprise/échelle  
© T. Dewez BRGM

# Du PARI (industriel) au PARI (inondation)

Proposé par le Cerema  
Directions territoriales  
- Méditerranée : Michel Bacou  
- Est : Aline Lombard  
- Ouest : Gerald Foulon

## Problématique opérationnelle concernée

La réduction de la vulnérabilité est l'une des clés de la réduction des risques à diverses échelles. La mise en œuvre des Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT) a donné une réponse opérationnelle à l'échelle du bâti au travers des Programmes d'Accompagnement aux Risques Industriels (PARI). Le retour d'expérience positif de ces dispositifs d'accompagnement techniques et financiers permet de proposer l'adaptation de cette méthodologie au risque inondation. La loi de finance 2019 qui prévoit de doubler le taux de contribution du fonds Barnier aux travaux de réduction de vulnérabilité du bâti des particuliers, va redonner une nouvelle impulsion à cet axe de la prévention.

## Applications effectives ou potentielles de la recherche ou des résultats présentés

L'objectif des travaux est de fournir des outils à destination des collectivités pour mener des PARI visant à la réduction opérationnelle de la vulnérabilité des bâtiments situés en zone inondable.

Le poster présentera :

- le descriptif et le retour d'expérience de l'expérimentation PARI sur les risques industriels ;
- l'adaptation de la démarche au risque inondation en précisant le phasage du programme et le dispositif financier envisagé.

## Préparation

- Diagnostic du territoire réalisé à partir des bases de données et du Plan de Prévention des Risques d'Inondation.
- Organisation d'un dispositif financier permettant de payer les travaux en paiement direct sans intervention des propriétaires.
- Sur la base de l'analyse du territoire, un CCTP de consultation des entreprises est proposé aux collectivités pour retenir un prestataire chargé de mener à bien l'opération.
- Préparation d'un plan de communication en collaboration avec les collectivités à destination des résidents en zone inondable, présentant l'opération d'accompagnement

## Accompagnement des propriétaires et entreprises

Diagnostic

Le prestataire réalise les diagnostics de vulnérabilité chez les particuliers et les entreprises et évalue le montant des travaux. Il reçoit une formation préalable et est accompagné sur les premiers diagnostics.

### Réalisation des travaux

Le prestataire consulte des artisans pour faire réaliser les travaux, suit et réceptionne les travaux sous le contrôle d'un comité technique et de pilotage. Ce comité est notamment en charge de la validation des diagnostics, des travaux et des paiements.

## Nature des acteurs concernés

Communes, Établissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI), Services de l'État, CdC

## Territoire concerné.

Le dispositif a vocation à intéresser tous les territoires couverts par des Plans de prévention des risques naturels d'inondation approuvés. Deux programmes sont en cours à Mayotte et en Corse.

# Du PARI (industriel) au PARI (inondation)

## L'accompagnement des démarches de réduction de la vulnérabilité à l'inondation

Michel Bacou  
 michel.bacou@cerema.fr  
 Didier Felts  
 didier.felts@cerema.fr  
 Gerald Foulon  
 gerald.foulon@cerema.fr

Aline Lombard  
 aline.lombard@cerema.fr  
 Mathieu Maupetit  
 mathieu.maupetit@cerema.fr



La réduction de la vulnérabilité est l'une des clés de la prévention des risques. L'expérience acquise en la matière sur le risque industriel, permet d'envisager une assistance des collectivités pour mettre en œuvre des programmes d'accompagnement des propriétaires exposés au risque inondation.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

En partant des expérimentations des programmes d'accompagnement des riverains autour des installations SEVESO faisant l'objet de PPRT, le projet vise à développer une méthodologie et une boîte à outils pour aider les collectivités à développer des programmes d'accompagnement au risque inondation pour les propriétaires ou occupants de logements et les entreprises.

### Résultats

Le retour d'expérience des Programmes d'Accompagnement aux Risques Industriels (PARI) a montré que l'accompagnement des riverains du point de vue technique, administratif et financier, sur le modèle des OPAH, est un réel levier de réalisation des travaux de réduction de vulnérabilité. Les expérimentations ont également permis de mettre en place des dispositifs financiers simples et opérationnels permettant le versement de subventions de différentes origines. Ce type de dispositif peut être adapté aux risques naturels et en particulier au risque inondation.

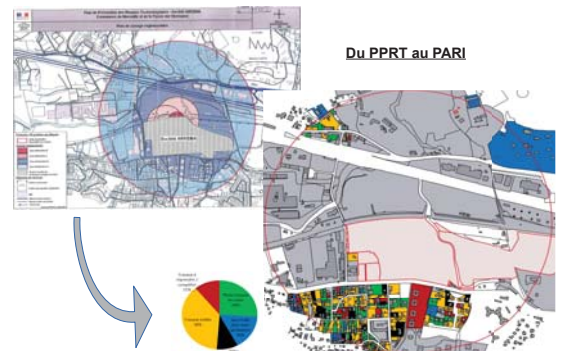
En effet, dans les zones soumises aux risques, notamment d'inondation, les propriétaires se trouvent démunis face aux difficultés techniques, administratives et financières pour réaliser des travaux de réduction de la vulnérabilité.

### Applications

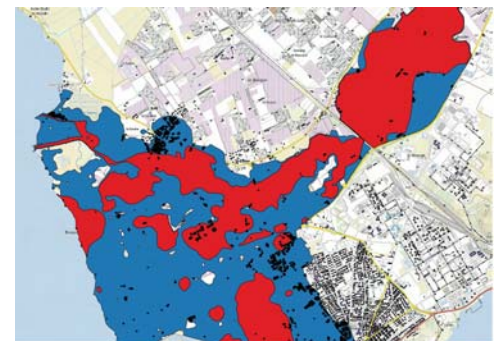
Un Programme d'Accompagnement au Risque Inondation se base sur une étude pré-opérationnelle qui contiendra un diagnostic territorial qui a pour objectif de dimensionner le dispositif et *in fine* d'élaborer un marché d'accompagnement.

- L'opérateur sous le contrôle d'un comité technique va organiser la communication, les diagnostics, la consultation des artisans, et le suivi de la réalisation des travaux.
- Le comité technique, quant à lui, valide les travaux à réaliser et procède au versement des subventions directement aux entreprises après réalisation des travaux.

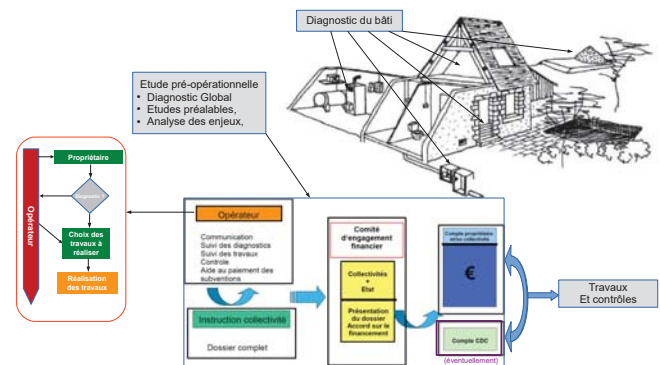
Deux opérations sont en début d'élaboration pour les villes de Porto-Vecchio (Corse du Sud) et de Sada (Mayotte)



Bâtiments potentiellement impactés sur le PPRT d'Arkema – Marseille et bénéficiant du programme d'accompagnement aux risques industriels



Bâtiments potentiellement impactés sur le PPRI de Berre-l'Étang



Vue d'ensemble du dispositif conduisant à une baisse de la vulnérabilité

# Effet de la remontée du niveau marin sur la marée : cas du plateau nord-ouest européen

**D. Idier<sup>1\*</sup>, F. Paris<sup>1</sup>, G. Le Cozannet<sup>1</sup>, F. Boulahya<sup>1</sup>, F. Dumas<sup>2</sup>**

1 BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, Orléans

2 SHOM, 13 Rue de Châtellier, 29200 Brest

\* d.idier@brgm.fr (correspondantes pour les ANRN 2019)

## Résumé

L'élévation du niveau moyen de la mer peut modifier non seulement les niveaux d'eau totaux, mais aussi la dynamique des marées. La présente étude s'intéresse aux effets de cette remontée du niveau moyen sur les marées le long des façades Atlantique et Manche des côtes métropolitaines françaises, et plus largement sur le plateau continental ouest-européen, par une approche de modélisation numérique. Ces travaux ont de nombreuses implications opérationnelles dont les méthodes d'estimation des aléas submersions futurs et des niveaux d'eau extrêmes actuels à la côte. Ils intéressent donc les organismes, bureaux d'étude et chercheurs impliqués dans ces thématiques. Nous nous concentrons ici principalement sur les modifications du niveau de pleine mer par rapport au niveau moyen considéré, i.e. le niveau de pleine mer relatif.

Tout d'abord, des scénarios de remontée du niveau moyen marin uniforme (de -0,25 m à +10 m) sont considérés. Dans le cas où l'on suppose que les rivages actuels resteront protégés de la submersion (par des défenses côtières), alors les variations du niveau de pleine mer relatif évoluent proportionnellement avec la remontée du niveau marin sur la plus grande partie de la zone (70%), tant que cette dernière reste inférieure à 2 m. Le niveau relatif de pleine mer augmente avec la remontée du niveau marin de manière significative en Manche orientale (ainsi que dans le nord de la mer d'Irlande, en Mer du Nord méridionale et le long des côtes allemandes), tandis qu'il diminue en Manche occidentale. Selon les zones, ces augmentations ou diminutions des niveaux relatifs de pleine mer représentent jusqu'à 15% de la remontée du niveau marin régional. Les territoires métropolitains les plus sujets à ces modifications sont la Manche (en particulier la baie du Mont Saint Michel) et la façade atlantique allant du Morbihan jusqu'à la Gironde.

Avec l'hypothèse de défenses côtières qui ne contiennent plus la submersion, la relation de proportionnalité entre les modifications des niveaux de pleine mer et l'élévation du niveau marin s'altère, en particulier le long des côtes allemandes. Cependant, certaines zones (exemple : la Manche) ne sont pas très sensibles à cette option, ce qui signifie que les effets de la remontée du niveau moyen seraient prévisibles dans ces zones, même sans connaître les futures stratégies de protection des côtes contre la submersion.

Une estimation préliminaire des modifications des caractéristiques de marée d'ici 2100 est réalisée selon un scénario de remontée du niveau marin non uniforme plausible (RCP4.5).



# Effet de la remontée du niveau marin sur la marée

## Cas du plateau nord-ouest européen

Déborah Idier<sup>1</sup>, François Paris<sup>1</sup>, Gonéri Le Cozannet<sup>1</sup>, Faiza Boulahya<sup>1</sup>, Franck Dumas<sup>2</sup>  
 d.idier@brgm.fr, F.Paris@brgm.fr, G.LeCozannet@brgm.fr  
 F.Boulahya@brgm.fr, fdumas@shom.fr

1: BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, Orléans  
 2: SHOM, 13 Rue de Châtellier, 29200 Brest



**Problématique opérationnelle, question posée :** Dans les approches actuelles d'estimation des aléas submersion futurs, la remontée du niveau marin est ajoutée au niveau d'eau actuel, en supposant donc indépendance entre niveau moyen et marée. Quelle est la validité de cette simplification ?

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Problématique de recherche : quantifier et comprendre l'effet de la remontée du niveau marin sur la marée.

Méthode :

- Modélisation numérique (modèle MARS, configuration validée en 16 marégraphes) : simulation sur une année type 2009.
- Analyse faite sur le niveau de marée maximal atteint par rapport aux niveaux moyens considérés dans les scénarios.
- Gamme explorée de remontée uniforme du niveau moyen / niveau actuel : de SLR=-0,25 à SLR=+10 m.

### Résultats

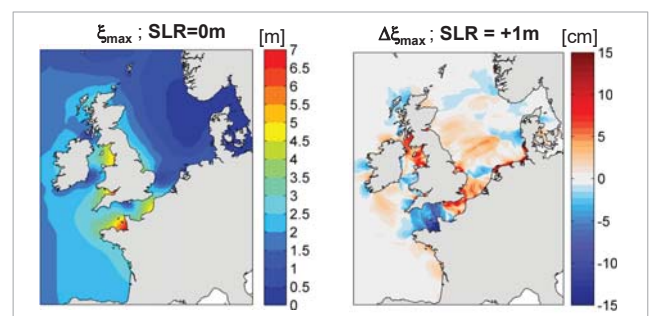
- Une remontée du niveau marin uniforme engendre des modifications de marée non-uniforme.
- Les modifications les plus fortes (+/-15% de la remontée du niveau marin) sont en Mer du Nord, Mer d'Irlande et Manche.
- Le niveau de pleine mer (par rapport au niveau moyen considéré) augmente avec la remontée du niveau marin en Manche orientale et diminue en Manche occidentale.
- Les modifications de marée sont sensibles à l'hypothèse de défenses côtières contenant, ou pas, la submersion.
- Pour un scénario plausible de remontée du niveau marin à échéance 2081-2100 (RCP4.5, stabilisation des émissions de GES avant la fin du XXI<sup>e</sup> siècle à un niveau faible), les niveaux de pleine mer relatifs au niveau moyen pourraient varier de  $\pm 10$  cm par rapport à aujourd'hui.
- La remontée du niveau marin est un des facteurs de modification de la marée et pourrait devenir un des facteurs principaux dans le futur.

### Applications

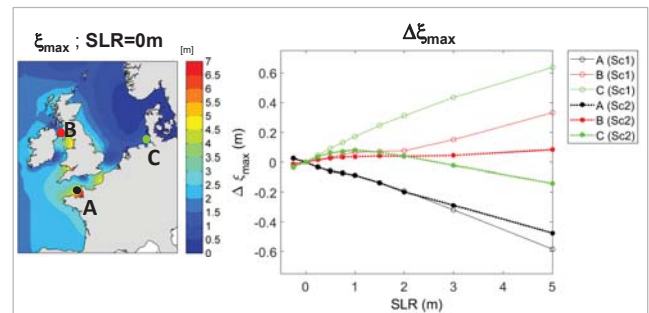
Du Pas de Calais à la Gironde, prendre en compte les modifications de la marée sous l'effet de la remontée du niveau marin permettrait, à terme, de diminuer les incertitudes dans le dimensionnement d'ouvrages, et les cartes d'aléas submersion futurs.

Pour en savoir plus :

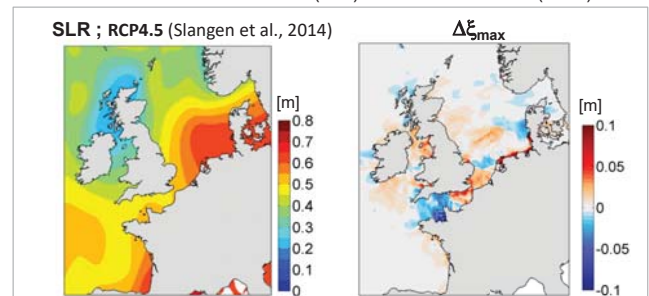
Le Monde (11/04/2017) Le réchauffement climatique va modifier l'amplitude des marées en Europe, [https://www.lemonde.fr/climat/article/2017/04/11/le-rechauffement-climatique-va-modifier-l-amplitude-des-marées-en-europe\\_5109652\\_1652612.html](https://www.lemonde.fr/climat/article/2017/04/11/le-rechauffement-climatique-va-modifier-l-amplitude-des-marées-en-europe_5109652_1652612.html)  
 Idier et al. (2017) Sea-level rise impacts on the tides of the European Shelf, Continental Shelf Research, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.01.007>



Gauche : niveau de pleine mer maximal ( $\xi_{\max}$  en mètres) sur l'année 2009 (remontée du niveau marin SLR=0). Droite : modification (en cm) de  $\xi_{\max}$  (par rapport au niveau moyen considéré) pour une remontée du niveau moyen SLR=1 m. Source : Idier et al. (2017).



Gauche : Localisation (A,B,C) des points analysés. Droite : modification (en mètres) de  $\xi_{\max}$  (par rapport au niveau moyen considéré) pour différentes valeurs de remontée du niveau marin (SLR) en supposant aucune submersion à terre (ouvrages infiniment hauts, scénario Sc1) ou bien en "autorisant" la submersion (Sc2). Source : Idier et al. (2017).



Gauche : remontée du niveau marin non-uniforme (m) considérée. Droite : changements absolus  $\Delta \xi_{\max}$  (m). Source : Idier et al. (2017).

# Quelle efficacité de l'information préventive sur les risques destinée au Grand Public ? Le cas du DICRIM

Laetitia Ferrer<sup>1</sup>, Corinne Curt<sup>1</sup>, Jean-Marc Tacnet<sup>2</sup>, Alexandra Schleyer-Lindenmann<sup>3</sup>, Aurélie Arnaud<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Irstea, UR RECOVER (Risques Ecosystèmes Vulnérabilité Environnement Résilience), 3275 Route de Cézanne 13182 Aix-en-Provence, France. [laetitia.ferrer@irstea.fr](mailto:laetitia.ferrer@irstea.fr) (à contacter pour les assises)

<sup>2</sup> Irstea, UR ETGR (Erosion Torrentielle Neige et Avalanches), Saint-Martin d'Hères, France.

<sup>3</sup> Université Aix Marseille, UMR ESPACE 7300 du CNRS, Aix en Provence, France.

<sup>4</sup> Université Aix Marseille, IUAR, LIEU, Aix en Provence, France.

La gestion des risques naturels implique le maintien d'une culture du risque par une sensibilisation du Grand Public. Celle-ci se fonde notamment sur la communication d'informations préventives qui est, en France, une obligation réglementaire. On peut cependant questionner l'efficacité de ces communications, au regard d'événements récents pour lesquels des comportements inappropriés persistent. Comment peut-on alors évaluer et améliorer ces communications ? Des méthodes existent mais elles ne sont généralement pas mises en œuvre du fait de leur coût élevé, elles s'appliquent à des cas particuliers et ne sont pas forcément génériques. Nos travaux visent à fournir deux outils d'aide à la décision permettant l'évaluation de l'efficacité du DICRIM, document réglementaire principal de référence pour l'information des citoyens sur les risques de leurs communes. Les outils ont été élaborés par le croisement de méthodes à l'interface entre Sciences Pour l'Ingénieur (méthode de la sûreté de fonctionnement), Sciences cognitives (modélisation de connaissances) et Sciences Humaines et Sociales (interviews et analyse de discours). Ces outils sont à destination des municipalités ou des bureaux d'étude en charge de la réalisation de DICRIM. Ils peuvent être utilisés sur tout DICRIM existant ou en création et ne nécessitent pas la mise en œuvre de moyens particuliers.

L'efficacité est considérée à travers 2 approches : l'évaluation de la conformité du DICRIM au regard de la loi, et l'évaluation de la performance du DICRIM. Cette dernière considère le document : (i) dans son ensemble ; (ii) sous l'angle de sa forme par l'analyse du visuel de chaque rubrique du DICRIM, et (iii) sous l'angle de son fond par l'analyse du contenu de chaque rubrique du DICRIM.

Un modèle de conformité et un modèle de performance ont donc été construits sur la base d'agrégations d'indicateurs, formalisés à partir de différentes données d'entrées (requis réglementaires, dires experts, avis d'habitants...). Les modèles proposent également des rétroactions afin d'améliorer l'efficacité du document si nécessaire, en fonction des notes obtenues à l'aide des indicateurs. Des validations des indicateurs et des modèles ont été réalisées sur des cas réels. L'application du modèle de conformité a par exemple montré que plusieurs éléments exigés par la réglementation manquaient systématiquement dans les DICRIM étudiés malgré leur importance (i.e explications sur le système assurantiel).

Les 2 outils ont suscités l'intérêt d'une association loi 1901 et de 2 collectivités rencontrées. Les modèles possèdent par ailleurs des composantes génériques qui peuvent être applicables à d'autres types d'outils de communication sur les risques.

# Efficacité de l'information préventive sur les risques majeurs destinée au Grand Public

## Le cas du DICRIM

Laetitia Ferrer, Corinne Curt, Jean-Marc Tacnet, Alexandra Lindemann, Aurélie Arnaud

{laetitia.ferrer, corinne.curt, jean-marc.tacnet}@irstea.fr  
{alexandra.lindemann, aurelie.arnaud}@univ-amu.fr

Irstea Aix-en-Provence  
Irstea Grenoble  
Aix-Marseille Université



### Problématique opérationnelle, question posée :

Comment évaluer et améliorer l'efficacité du DICRIM\* en termes d'appropriation par le Grand Public ?

\*D.I.C.R.I.M = Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs

### Problématiques de recherche - méthodes – objectifs

**DICRIM** : document réglementaire principal pour l'information des citoyens sur les risques de leur commune.

**Objectif** : fournir un **outil d'aide à la décision** permettant une évaluation et une amélioration générique et formalisée

➤ L'outil formalise des *connaissances théoriques*, des *dirès experts* et des *préférences d'habitants issues d'enquêtes*.



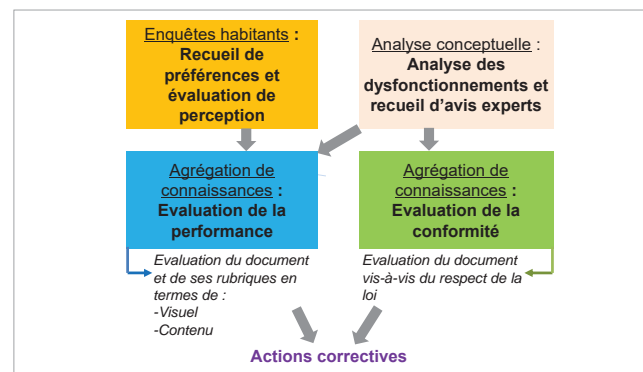
Dispositifs actuels de communication préventive sur les risques majeurs à destination du Grand Public – L.Ferrer

### Résultats

2 modèles construits sur la base d'indicateurs :

- *Note de conformité* : agrégation indicateurs conformité vis-à-vis de la loi
- *Note de performance* : agrégation indicateurs de performance évaluant le visuel et le contenu du document et de ses rubriques

L'outil propose également des **actions correctives** à porter à une caractéristique défaillante éventuelle du DICRIM

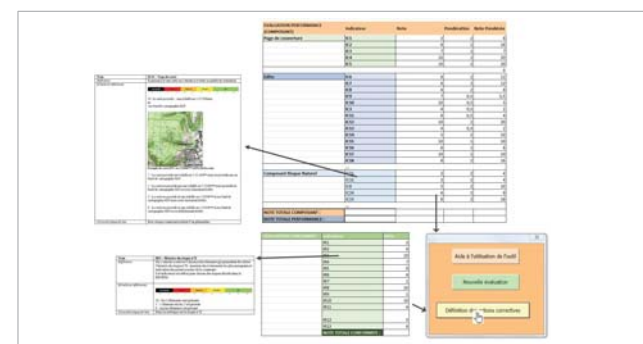


Démarche de construction de l'outil d'aide à la décision – L.Ferrer

### Applications

- Application du modèle de conformité sur DICRIMs SUD = Manques systématiques de certains requis réglementaires malgré leur importance (i.e. explications sur le système assurantiel).
- Ces **outils** sont à **destination des collectivités** en charge de la réalisation de DICRIM ou du contrôle de leur élaboration. Ils peuvent être utilisés sur tout DICRIM existant ou en création et **ne nécessitent pas la mise en œuvre de moyens particuliers**.

Pour en savoir plus : <https://tel.archives-ouvertes.fr> : « Evaluation de l'efficacité de l'information préventive sur les risques majeurs destinée au Grand Public : Application au DICRIM » Laetitia Ferrer, 2018.



Fonctionnement de l'outil d'aide à la décision – L.Ferrer

# Estimation bayésienne des mesures de risques extrêmes appliquée à l'assurance des catastrophes naturelles

Meryem Bousebata<sup>(1,\*)</sup>, Geoffroy Enjolras<sup>(2)</sup>, Stéphane Girard<sup>(1)</sup>

(1) Univ. Grenoble Alpes, Inria, CNRS, Grenoble INP, LJK, Grenoble, France

(2) Univ. Grenoble Alpes, CERAG EA7521, Grenoble, France

<sup>(\*)</sup> Auteur à contacter, meryem.bousebata@inria.fr

## Résumé

Dans un contexte de dérégulation des marchés et de dérèglement climatique, l'agriculture est soumise à des risques multiples et croissants. La volatilité des prix, accrue par la mondialisation des échanges des matières premières, et le changement climatique pèsent sur le volume et la qualité de la production et mettent en jeu la survie des exploitations agricoles. La protection contre les aléas du climat et des marchés relève de la bonne gestion de ces risques et ainsi de la couverture assurantielle des agriculteurs.

Notre contribution à cet enjeu vise à introduire de nouvelles méthodes pour modéliser le revenu agricole français afin d'étudier son assurabilité. Une façon d'aborder cette question est d'extraire une relation probabiliste via la théorie des copules entre les prix des cultures et les rendements afin de fixer le point de référence au-delà duquel une assurance-récolte devrait être souscrite. Nous proposons une méthodologie qui repose sur la théorie des valeurs extrêmes, particulièrement adaptée aux catastrophes et risques extrêmes. La modélisation des catastrophes et des pertes associées permet d'envisager l'application de ces modèles à la question de l'assurance des catastrophes, une problématique encore assez limitée dans la recherche.

L'objectif principal de ce travail est d'améliorer la modélisation des événements extrêmes d'origine climatique et de leurs conséquences. Il vise dans un premier temps à contribuer au développement de méthodes bayésiennes pour l'estimation des mesures de risques extrêmes. Statistique des valeurs extrêmes, statistique bayésienne et copules sont ainsi les trois piliers théoriques sur lesquels repose notre projet. Ce travail permettra dans un second temps d'adapter les instruments de gestion des risques financiers tels que les contrats d'assurances et les instruments financiers (dérivés climatiques et « obligations catastrophes » - *Cat Bonds*) afin d'obtenir une meilleure couverture des risques naturels qui bénéficiera *in fine* aux agriculteurs et donc à la population.

Nous mobilisons spécifiquement les données du Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA) qui contiennent des informations importantes sur les revenus professionnels agricoles français. Cette base de données sans équivalent permet de coupler modélisations statistiques avancées et modèles assurantiels ou financiers sur des cas réels. Notre projet de recherche permet ainsi de contribuer à l'amélioration des connaissances sur les catastrophes naturelles d'origine climatique et leur couverture financière.

# Estimation bayésienne des mesures de risques naturels extrêmes

## Application à l'assurance du risque agricole

Meryem Bousebata<sup>(1)</sup>, Stéphane Girard<sup>(2)</sup>,  
Geoffroy Enjolras<sup>(3)</sup>

(1) [meryem.bousebata@inria.fr](mailto:meryem.bousebata@inria.fr)

(2) [stephane.girard@inria.fr](mailto:stephane.girard@inria.fr)

(3) [geoffroy.enjolras@grenoble-iae.fr](mailto:geoffroy.enjolras@grenoble-iae.fr)

(1,2) Univ. Grenoble Alpes, Inria, CNRS, INP, LJK,  
Grenoble, France

(3) Univ. Grenoble Alpes, CERAG EA 7521,  
Grenoble, France



Dans un contexte de dérèglement climatique et de dérégulation des marchés, l'agriculture est soumise à des risques multiples et croissants. La couverture assurantielle des agriculteurs est un enjeu majeur pour la gestion de ces risques, notamment ceux liés au climat.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

- Étudier l'assurabilité du revenu agricole en modélisant la structure de dépendance entre les rendements et les prix.
- Sélectionner le bon modèle statistique (copules, statistique des valeurs extrêmes, statistique bayésienne).
- Adapter les instruments de gestion des risques naturels en vue d'assurer une meilleure couverture financière.
- Analyser les données extraites du Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA).

### Application des copules au revenu issu du blé

- Application de l'étude sur une grande base de données d'environ 950 exploitations agricoles de taille commerciale, focalisation sur 2014, une année très chaude.
- Modélisation de la dépendance entre rendement et prix (Fig. 1) en fonction de divers paramètres (température, engrais, pesticides, assurance récolte, altitude et régions) par une copule conditionnelle.

### Résultats

- La volatilité des prix et la diminution des rendements agricoles sont très importantes et liées aux risques naturels suite aux températures record de 2014 (Fig. 2 a).
- Au-delà du climat, la baisse des rendements tient à d'autres facteurs, tels que la souscription d'assurance récolte, l'altitude (< 300 m) et la région (Fig. 3).
- Une forte intensité d'utilisation des engrais et des pesticides neutralise la corrélation (Fig. 2 b et c).

### Perspectives

- Développer le modèle de statistique bayésienne.
- Adapter les instruments financiers (assurance et *Cat Bonds*) pour renforcer la résilience face aux risques naturels.

Pour en savoir plus :

<https://risk.univ-grenoble-alpes.fr/>

<http://agreste.agriculture.gouv.fr/publications/graphagri/article/graphagri-regions-edition-2014> \*

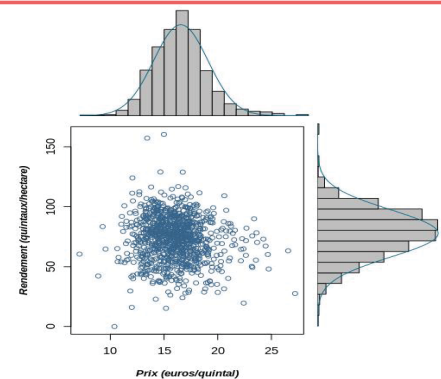


Fig. 1 : Distribution du couple (prix, rendement) du blé

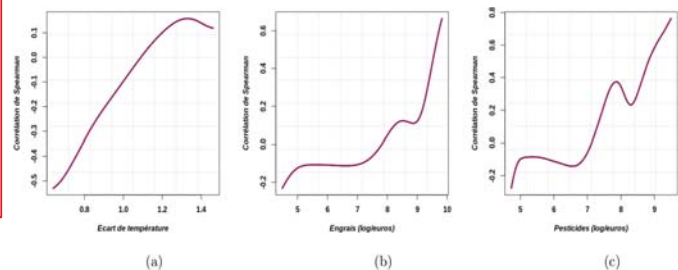
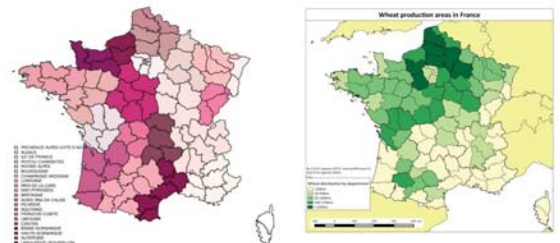


Fig. 2 : Corrélation prix/rendement conditionnellement aux écarts de température, engrais et pesticides



Source: l'étude réalisée

Source : \*

Fig. 3 : Corrélation prix/rendement (à gauche) et production de blé (à droite) selon les régions – Les corrélations basses (resp. élevées) sont en rose clair (resp. foncé)

## Etat de l'art scientifique et prospective pour la prévision du risque d'avalanches en France

Samuel Morin<sup>1</sup>, Marie Dumont<sup>1</sup>, Pascal Hagenmuller<sup>1</sup>, Fatima Karbou<sup>1</sup>, Matthieu Lafaysse<sup>1</sup>, Matthieu Vernay<sup>1</sup>, Isabelle Gouttevin<sup>1</sup>, Nicolas Eckert<sup>2</sup>, Guillaume Evin<sup>2</sup>, Michael Deschatres<sup>2</sup>, Cécile Coléou<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Univ. Grenoble Alpes, Université de Toulouse, Météo-France, Grenoble, France, CNRS, CNRM, Centre d'Etudes de la Neige, Grenoble, France

<sup>2</sup> Univ. Grenoble Alpes, Irstea, UR ETNA, Grenoble, France

<sup>3</sup> Météo-France, DirOP, Cellule Montagne et Nivologie, Grenoble, France

La prévision du risque d'avalanche joue un rôle important pour anticiper les mesures à mettre en œuvre pour la protection des personnes et des biens en zone de montagne. Elle s'appuie sur de nombreux outils et informations complémentaires, et se traduit pour ses divers publics sous forme de Bulletins d'estimation du Risque d'Avalanche (multi-usages, par massif), de carte de Vigilance pour le phénomène avalanche, qui ne concerne que les départs spontanés, et de Communiqués Spéciaux Avalanche, qui se concentrent sur les situations à enjeux pour les pratiquants de la montagne.

Cette contribution synthétisera les systèmes et outils scientifiques utilisés en appui de la prévision du risque d'avalanches (diversification de données de terrain, données de télédétection, systèmes de modélisation) et les perspectives de développement dans ce domaine (montée en résolution spatiale, prévisions d'ensemble, assimilation de données) ainsi que le post-traitement des prévisions pour leur exploitation et la production d'information pour les bénéficiaires finaux. Ces derniers sont de nature diverses, de l'individu organisant ses activités de plein air aux organismes en charge de la sécurité des personnes et des biens sur les routes, dans les villages de montagne et au sein des domaines skiables.

La question de l'évolution de ce risque sous l'effet du changement climatique sera abordée.

# Etat de l'art scientifique et prospective pour la prévision du risque d'avalanches en France

Samuel Morin<sup>1</sup>, Marie Dumont<sup>1</sup>, Pascal Hagenmuller<sup>1</sup>, Fatima Karbou<sup>1</sup>, Matthieu Lafayesse<sup>1</sup>, Matthieu Vernay<sup>1</sup>, Isabelle Gouttevin<sup>1</sup>, Nicolas Eckert<sup>2</sup>, Guillaume Evin<sup>2</sup>, Michael Deschatres<sup>2</sup>, Cécile Coléou<sup>3</sup> [samuel.morin@meteo.fr](mailto:samuel.morin@meteo.fr)

<sup>1</sup>Univ. Grenoble Alpes, Université de Toulouse, Météo-France, Grenoble, France, CNRS, CNRM, Centre d'Etudes de la Neige, Grenoble, France

<sup>2</sup>Univ. Grenoble Alpes, Irstea, UR ETNA, Grenoble, France

<sup>3</sup>Météo-France, DirOP, Cellule Montagne et Nivologie, Grenoble, France



La prévision du risque d'avalanche a pour objectif d'anticiper les mesures à mettre en œuvre pour la protection des personnes et des biens en zone de montagne. Elle se traduit notamment sous forme de Bulletins d'estimation du Risque d'Avalanche et de carte de Vigilance Avalanche.

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

La prévision du risque d'avalanche s'appuie sur de nombreux outils et informations complémentaires, en premier lieu l'observation du manteau neigeux en montagne et la prévision de son évolution. Au-delà de l'observation in-situ, la télédétection est de plus en plus utilisée pour détecter les dépôts d'avalanche. La chaîne de modélisation SAFRAN - SURFEX/ISBA-Crocus - MEPRA (S2M) est actuellement modernisée et étendue vers la prévision d'ensemble.

## Télédétection des dépôts d'avalanche

La détection par satellites des dépôts d'avalanche ouvre une nouvelle voie d'amélioration des connaissances au sujet de ce phénomène, permettant de mieux qualifier la qualité des prévisions et, à terme, d'affiner les outils de prévision et leur usage. Les travaux en cours, en collaboration entre le CNRM/CEN, Irstea ETNA et l'ONF RTM, exploitent les images satellites Sentinel 1 pour la détection des avalanches par des méthodes de détection de changement entre des images consécutives espacées de 6 jours.

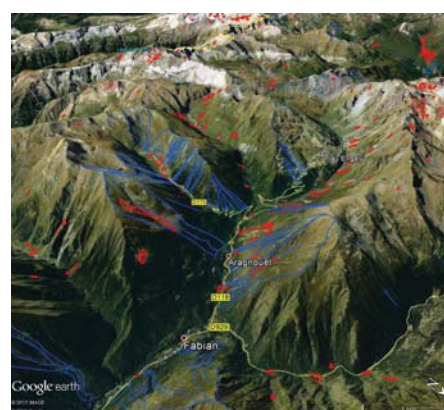
## Prévision d'ensemble

Tout comme la prévision météorologique et la prévision hydrologique, la combinaison de diverses sources d'erreurs dans les systèmes de prévision justifie de quantifier l'incertitude de prévision numérique en appui à la prévision du risque d'avalanches. Le CNRM/CEN a développé un prototype de prévision d'ensemble pour la chaîne S2M, alimenté par la Prévision d'Ensemble ARPEGE, actuellement en cours de transfert opérationnel.

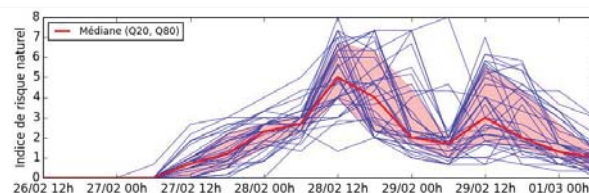
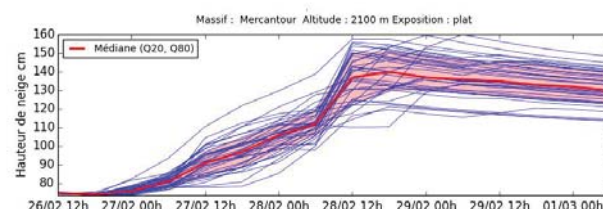
Pour en savoir plus :

<http://www.meteofrance.fr/activites-recherche/ameliorer-la-prevision-du-risque-d-avalanche/comment-ameliorer-la-prevision-du-risque-d-avalanche>

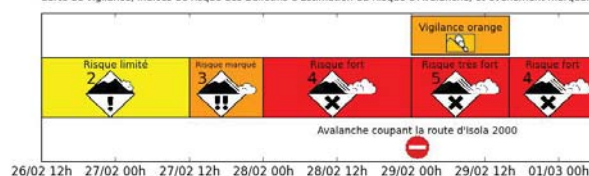
<https://www.irstea.fr/fr/editions-et-publications/dossiers-thematiques/risque-avalanche>



Superposition des avalanches détectées à partir d'images satellites radar (en rouge) sur un relief des Pyrénées, permettant également de visualiser l'emprise des couloirs d'avalanche de l'Enquête Permanente sur les Avalanches.



Chronologie de l'événement sur le massif du Mercantour : Carte de vigilance, indices de risque des Bulletins d'Estimation du Risque d'Avalanche, et événement marquant



Exemple de la situation du 29/2/2016 dans le Mercantour : en haut, prévision PEARP-S2M (épaisseur de neige et indice simulé de risque naturel). En bas : chronologie de l'événement (niveau de risque et Vigilance)

## **Approche prédictive pour l'évaluation de la résilience des réseaux d'infrastructures critiques aux risques naturels, axée sur le réseau routier de Baalbek-Hermel (Liban)**

Rita Der Sarkissian<sup>(1), (2)</sup>, Jean-Marc Zaninetti<sup>(1)</sup>, Chadi Abdallah<sup>(2)</sup>

1-Laboratoire d'Economie Orléans (LEO) - Université d'Orléans - Orléans, France

2-Conseil national pour la recherche scientifique (CNRS) - Centre de télédétection - Beyrouth, Liban

Très peu d'études ont été menées au Liban pour évaluer la vulnérabilité des réseaux d'infrastructures critiques et l'impact que peuvent avoir les aléas naturels sur ces derniers. Estimer la vulnérabilité du réseau routier, considéré comme l'une des Infrastructures critiques les plus cruciales en temps de crise, est indispensable à la réalisation des objectifs de réduction des risques de catastrophe. Il faut déterminer sa résilience face aux aléas naturels. Cette étude propose une nouvelle méthode prédictive pour mettre en œuvre, de manière opérationnelle, le concept de résilience en explorant la redondance du réseau routier du gouvernorat de Baalbek - Hermel (Liban) afin de pouvoir prédire son comportement futur et sa capacité de fonctionnement en réponse aux risques naturels. La méthodologie proposée consiste en une approche d'analyse spatiale prédictive basée sur des modèles numériques géospatiaux combinés à une fonction R-NetSwan pour la modélisation et la simulation des infrastructures critiques. Cette analyse est bien organisée en trois étapes : analyse de la vulnérabilité du réseau, analyse des interdépendances internes et analyse de la résilience face aux aléas naturels. Les résultats montrent que le réseau routier de Baalbek-Hermel atteint une perte totale de connectivité lorsque près de 60% de ses nœuds critiques sont endommagés. Il est donc relativement bien maillé et présente un niveau de vulnérabilité modéré ainsi qu'un bon niveau de redondance, en particulier dans les zones urbaines. Les tremblements de terre se sont révélés être les aléas les plus préoccupants pour ce réseau, menaçant sa connectivité dès les premiers nœuds endommagés et provoquant les pourcentages de perte de connectivité les plus élevés (70%). Les résultats de cette étude ont plusieurs cibles opérationnelles ; ils dévoilent aux responsables les défauts du réseau routier pour une amélioration ou la construction de nouveau détours ainsi qu'ils permettent aux services de premiers secours de mieux visualiser ces faiblesses et de mieux se préparer. Cette étude facilite ainsi la mise en œuvre d'une approche proactive de la réduction des risques et de la protection des réseaux d'infrastructures critiques pour de meilleures réponses en temps de crise et des plans d'évacuation beaucoup plus efficaces.

Mots clés : résilience des routes, analyse de réseau, infrastructure critique, SIG, réduction des risques de catastrophe (RRC), risques naturels, R-NetSwan.



# Évaluation de la Résilience des Infrastructures Critiques face aux risques naturels

## Approche prédictive axée sur le réseau routier de Baalbek-Hermel (Liban)

Rita Der Sarkissian<sup>(1), (2)</sup>  
rita.der-sarkissian@etu.univ-orleans.fr  
Jean-Marc Zaninetti<sup>(1)</sup>  
jean-marc.zaninetti@univ-orleans.fr  
Chadi Abdallah<sup>(2)</sup>  
chadi@cnrs.edu.lb

(1)-Laboratoire d'Economie Orléans (LEO) -  
Université d'Orléans - Orléans, France  
(2)-Conseil national pour la recherche scientifique  
(CNRS) - Centre de télédétection - Beyrouth, Liban



Estimer la vulnérabilité du réseau routier, considéré comme l'une des Infrastructures critiques les plus cruciales en temps de crise, est indispensable à la réalisation des objectifs de réduction des risques de catastrophe. Comment alors déterminer sa résilience face aux aléas naturels?

### Problématiques de recherche- méthodes – objectifs

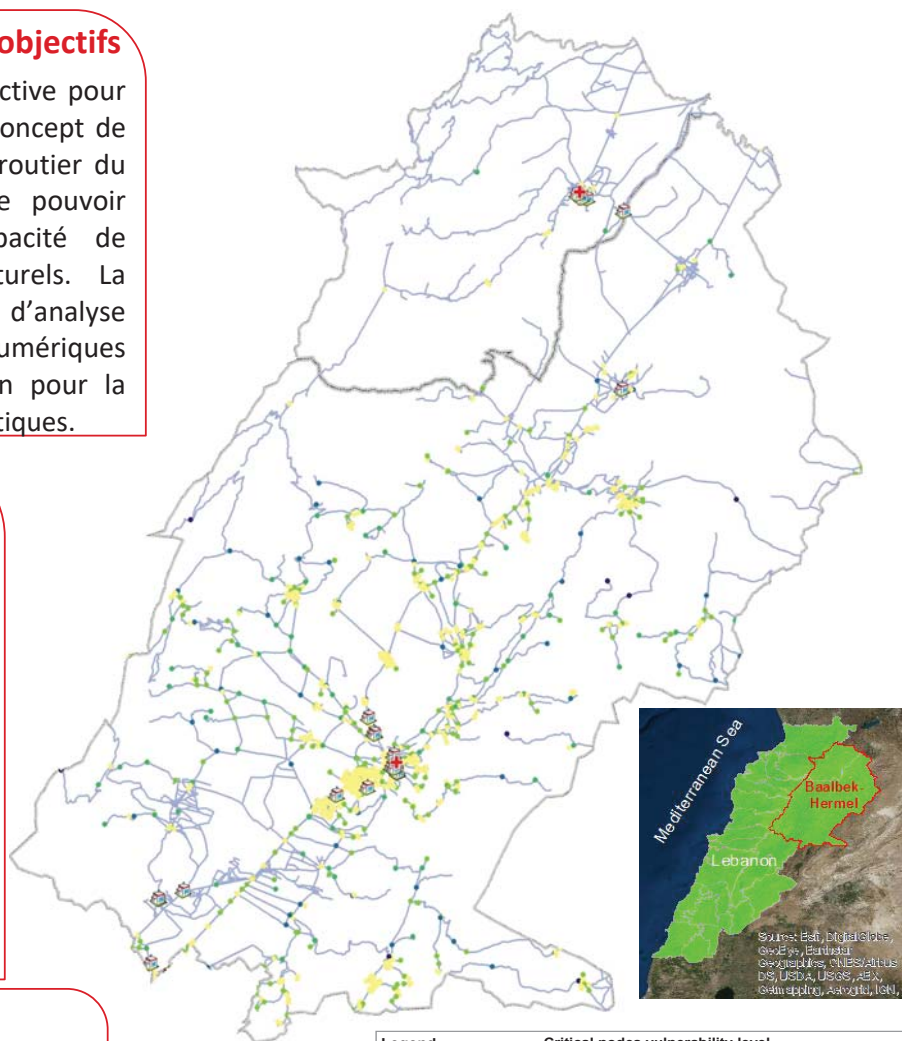
Cette étude propose une nouvelle méthode prédictive pour mettre en œuvre, de manière opérationnelle, le concept de résilience en explorant la redondance du réseau routier du gouvernorat de Baalbek-Hermel (Liban) afin de pouvoir prédire son comportement futur et sa capacité de fonctionnement en réponse aux risques naturels. La méthodologie proposée consiste en une approche d'analyse spatiale prédictive basée sur des modèles numériques géospatiaux combinés à une fonction R-NetSwan pour la modélisation et la simulation des infrastructures critiques.

### Résultats

Les résultats montrent que le réseau routier de Baalbek-Hermel atteint une perte totale de connectivité lorsque près de 60% de ses nœuds critiques sont endommagés. Il est donc relativement bien maillé et présente un niveau de vulnérabilité modéré ainsi qu'un bon niveau de redondance, en particulier dans les zones urbaines. Les tremblements de terre se sont révélés être les aléas les plus préoccupants pour ce réseau, menaçant sa connectivité dès les premiers nœuds endommagés et provoquant les pourcentages de perte de connectivité les plus élevés (70 %).

### Applications

Cette étude facilite la mise en œuvre d'une approche proactive de la réduction des risques et de la protection des réseaux d'infrastructures critiques pour de meilleures réponses en temps de crise et des plans d'évacuation beaucoup plus efficaces.



Vulnérabilité du réseau routier de Baalbek Hermel et nœuds critiques identifiés. Der Sarkissian et al., 2019

# **Evaluation de la soutenabilité des mesures de gestion du risque**

## **Application aux risques inondation, submersion marine et incendie de forêt**

Curt C.<sup>1,4\*</sup>, Di Maiolo P.<sup>1,4</sup>, Schleyer-Lindenmann A.<sup>2,4</sup>, Tricot A.<sup>2,4</sup>, Curt T.<sup>1,4</sup>, Arnaud A.<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Irstea – UR RECOVER – 3275 route de Cézanne – CS 40061 – 13182 Aix-en-Provence Cedex 5

<sup>2</sup> UMR ESPACE - Technopôle de l'environnement Arbois - 13 545 Aix-en-Provence Cedex 04

<sup>3</sup> LIEU-IUAR – 2, av. Henri Poncet - 13090 Aix-en-Provence

<sup>4</sup> FR ECCOREV- Technopôle de l'environnement Arbois-Méditerranée / Domaine du Petit Arbois – Avenue Louis Philibert – Bâtiment du CEREGE – BP 80 – 13545 Aix-en-Provence Cedex 4

La gestion du risque est menée grâce à des mesures non structurelles (occupation du sol, alerte...) et structurelles (digues, noues...). Nous focalisons ici sur ces dernières. La définition d'aménagements pour la gestion du risque devrait considérer, en plus de la performance en terme de protection/prévention, la soutenabilité des mesures qui composent cet aménagement. Pour ce faire, il est nécessaire d'évaluer ces mesures au travers de critères environnementaux, économiques et sociaux. Si les critères économiques sont généralement considérés, les critères environnementaux et sociaux sont plus récemment ou rarement pris en compte alors qu'ils devraient jouer un rôle important. Par ailleurs, pour protéger son territoire, une collectivité peut faire appel à deux types de mesures structurelles : les solutions fondées sur la nature qui s'appuient sur la nature, s'en inspirent ou la copient ; les solutions grises dans le cas d'ouvrages anthropiques ; les solutions hybrides par combinaison de ces deux types.

Dans ce contexte, nous avons réalisé un inventaire des mesures de gestion du risque et développé une méthodologie d'analyse de la soutenabilité des mesures de gestion du risque basée sur l'analyse fonctionnelle et la norme NF ISO 37101 (« Système de management pour le développement durable au sein des communautés territoriales »). L'inventaire des mesures a été mené pour 3 risques : inondation, incendie de forêt et submersion. L'approche d'évaluation de la soutenabilité est basée sur l'évaluation de critères et d'indicateurs. Neuf critères couvrent les aspects environnementaux (Préservation et amélioration de l'environnement ; Utilisation responsable des ressources), sociaux (Attractivité du lieu, Cohésion sociale, Bien-être et qualité de vie) ; économiques (coûts) et techniques (spécifications techniques) ; ou sont intégrateurs comme la Multifonctionnalité et la Résilience. Ces critères sont alimentés par 35 indicateurs formalisés (définition et échelle permettant leur évaluation).

Des mesures de gestion ont été évaluées selon les indicateurs et critères de soutenabilité définis. Un workshop impliquant différents acteurs du risque d'une commune de la Région SUD aura lieu prochainement afin de conforter les critères et indicateurs et recueillir l'intérêt d'acteurs opérationnels vis-à-vis de l'approche développée. Ces travaux alimenteront ultérieurement des outils d'aide à la décision publique permettant de définir les aménagements de gestion du risque les plus pertinents et soutenables sur un territoire.

Les travaux ont été menés durant le projet APOGEE (Analyse des politiques de gestion du risque et de leur mise en œuvre dans un cadre territorial et de développement durable) financé par la FR ECCOREV.

---

\* Auteur à contacter pour toute communication relative aux Assises

# Evaluation de la soutenabilité des mesures de gestion du risque

## Application aux risques inondation, submersion marine et incendie de forêt

Curt C.<sup>1,4</sup>, Di Maiolo P.<sup>1,4</sup>, Schleyer-Lindenmann A.<sup>2,4</sup>,  
Tricot A.<sup>2,4</sup>, Curt T.<sup>1,4</sup>, Arnaud A.<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> [nom.prenom@irstea.fr](mailto:nom.prenom@irstea.fr) ; <sup>2</sup> et <sup>3</sup> [nom.prenom@univ-amu.fr](mailto:nom.prenom@univ-amu.fr)

<sup>1</sup> Irstea, Aix Marseille Univ, RECOVER

<sup>2</sup> UMR ESPACE

<sup>3</sup> LIEU IUAR

<sup>4</sup> FR ECCOREV



### Problématique opérationnelle, question posée :

Comment évaluer la soutenabilité de mesures structurelles (grises, fondées sur la nature ou hybrides) pour aider à la gestion du risque ?

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Proposer une démarche générique permettant d'évaluer la soutenabilité de différents types de mesures de gestion du risque selon des critères environnementaux, sociaux et économiques (coûts) et techniques.

Méthodes employées : analyse fonctionnelle, formalisation de connaissances, analyse de la littérature, validation auprès d'un groupe d'acteurs opérationnels (focus group), SIG.

### Résultats

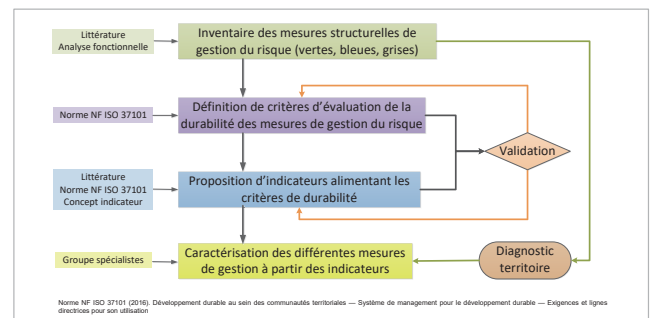
- Réalisation d'un inventaire des mesures de gestion (grises, fondées sur la nature et hybrides) pour 3 risques : inondation, incendie de forêt et submersion
- Formalisation de critères et d'indicateurs environnementaux, sociaux, économiques, techniques ou intégrateurs (Multifonctionnalité, Résilience)
- Evaluation de mesures de gestion selon les indicateurs et critères de soutenabilité définis

### Applications

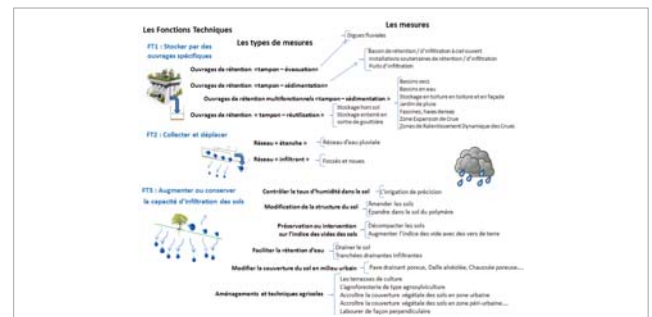
- Organisation prochaine d'un focus group impliquant différents acteurs du risque d'une commune de la Région SUD : conforter les critères et indicateurs et recueillir l'intérêt d'acteurs opérationnels vis-à-vis de l'approche développée
- Perspectives : développement d'outils d'aide à la décision publique visant à définir les aménagements de gestion du risque les plus pertinents en termes de protection et soutenabilité

### Pour en savoir plus :

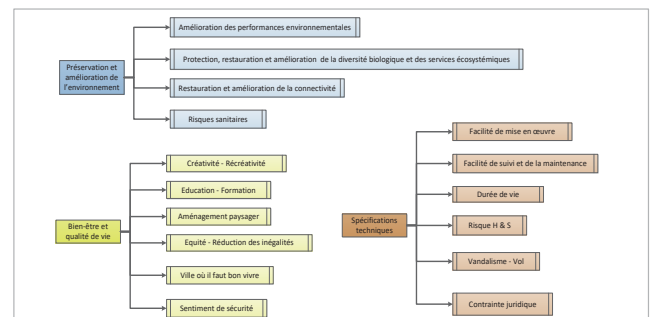
Les travaux ont été menés durant le projet APOGEE (Analyse des politiques de gestion du risque et de leur mise en œuvre dans un cadre territorial et de développement durable) financé par la FR ECCOREV.



Démarche développée (Figure C Curt)



Inventaire des mesures structurelles de gestion du risque lié à l'inondation (Figure P Di Maiolo)



Exemples de critères et indicateurs formalisés (Figure C Curt)

## Evaluation du risque sismique en France et conséquences pour le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles en France

Julien Rey\* et Pierre Tinard\*\*

\* BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2

[j.rey@brgm.fr](mailto:j.rey@brgm.fr)

\*\* Caisse Centrale de Réassurance, 157, boulevard Haussmann, 75008 PARIS, France

[ptinard@ccr.fr](mailto:ptinard@ccr.fr)

### RÉSUMÉ.

Le BRGM et CCR collaborent depuis 2014 à la réalisation d'une étude visant à établir une cartographie homogène et cohérente du risque sismique en France et ce, afin d'établir une vision probabiliste de l'exposition, en termes financiers, des territoires relevant du dispositif d'indemnisation des catastrophes naturelles. Ces travaux se basent sur une chaîne de traitements complète de modélisation : caractérisation de l'aléa, de la vulnérabilité, de l'endommagement et des coûts notamment ceux à charge du secteur de l'assurance et potentiellement de l'Etat à travers le régime d'indemnisation des Catastrophes Naturelles institué en France métropolitaine depuis 1982 et étendus à la plupart des territoires d'Outre-mer depuis 1990.

La méthodologie développée consiste à réaliser des scénarios de dommages afin d'évaluer les conséquences financières pour les biens assurés indemnisables sur les constructions pour une source sismique donnée, définie de façon déterministe ou probabiliste.

A ce jour, le modèle permet d'évaluer les conséquences d'événements sismiques sur tout le territoire métropolitain et pour l'ensemble des biens assurés en France : logements (maisons et appartements), commerces et artisans, bâtiments agricoles, zones commerciales et zones industrielles. L'aléa sismique est évalué au regard de l'état de l'art des connaissances scientifiques, incluant les effets de sites lithologiques et topographiques, pour des événements de référence par région ou département. Par ailleurs, l'accélération du sol telle que définie par l'aléa réglementaire en France (Groupe d'Etude et de Proposition pour la Prévention du risque sismique en France (GEPP), 2005) est utilisée afin d'estimer les conséquences pour une période de retour de 475 ans ou ayant 10% de probabilité d'être atteinte ou dépassée dans les 50 prochaines années.

Le modèle présente la même approche pour la plupart des territoires d'Outre-mer bénéficiant du régime d'indemnisation Cat Nat (Guadeloupe, Martinique, Guyane, La Réunion, Saint-Pierre-et-Miquelon, Mayotte, Saint-Barthélemy, Saint-Martin) mais doit encore être complété courant 2019 pour l'impact des séismes sur les bâtiments dévolus aux commerces, à l'agriculture et aux industries.

Ces résultats permettent d'ores et déjà de produire des indicateurs exprimant le risque sismique à différentes échelles d'analyse afin, par exemple, de hiérarchiser les territoires en fonction de leur exposition. A terme, le partage de ces indicateurs, notamment via l'ONRN, pourra apporter un élément supplémentaire d'aide aux politiques publiques de prévention.

MOTS-CLÉS : scénario de risque sismique, réassurance, Cat Nat, probabiliste, vulnérabilité, dommages, prévention

# Evaluation de l'impact des séismes en France

## Aléa – Vulnérabilité – Coût à charge du régime Cat Nat

Julien Rey, Afifa Imtiaz, Daniel Monfort  
j.rey@brgm.fr

**BRGM**  
3, avenue Claude Guillemin, Orléans



Pierre Tinard, Thomas Onfroy  
ptinard@ccr.fr

**CCR**  
157, boulevard Hausmann, Paris

En France, les séismes représentent une menace diffuse mais pourtant bien réelle aux conséquences économiques potentiellement importantes. Evaluer en amont l'impact des séismes permet de se préparer pour améliorer la résilience des territoires touchés.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Le BRGM et CCR collaborent depuis 2014 à la réalisation d'une étude pour une cartographie homogène et cohérente du risque sismique, en termes financiers, des territoires relevant du dispositif Cat Nat en métropole comme en Outre-Mer.

Chaîne de traitements complète de modélisation : caractérisation de l'aléa, de la vulnérabilité, de l'endommagement et des coûts assurés.

### Résultats

Le modèle permet d'estimer les conséquences financières des séismes déterministes (sur des failles) ou probabilistes en lien par exemple avec le zonage sismique réglementaire pour tous les territoires métropolitains et d'Outre-Mer bénéficiant du régime d'indemnisation Cat Nat. Le modèle prend en compte l'ensemble des biens assurés : enjeux résidentiels (maisons & appartements), commerces de proximité, centres commerciaux et enfin bâtiments industriels et agricoles.

### Applications

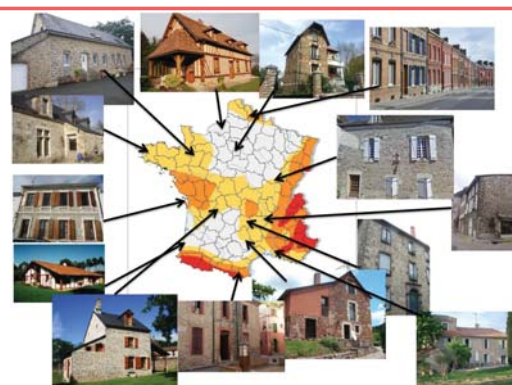
Ces résultats permettent de réaliser une cartographie cohérente France entière des conséquences des séismes, une évaluation de l'impact de séismes passés ou de séismes plausibles, la réalisation d'analyses coût-bénéfice des mesures de prévention pour réduire l'exposition aux séismes. Ils permettent au final de produire des indicateurs exprimant le risque sismique à différentes échelles d'analyse afin, par exemple, de hiérarchiser les territoires en fonction de leur exposition apportant un élément supplémentaire d'aide aux politiques publiques de prévention.

#### Pour en savoir plus :

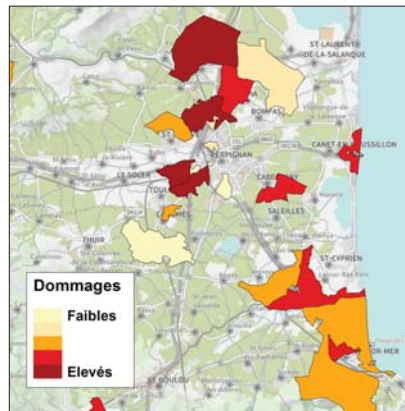
Rapports publics BRGM : RP-64454-FR (2015), RP-65372-FR (2016), RP-66473-FR (2016), RP-68082-FR (2017) :



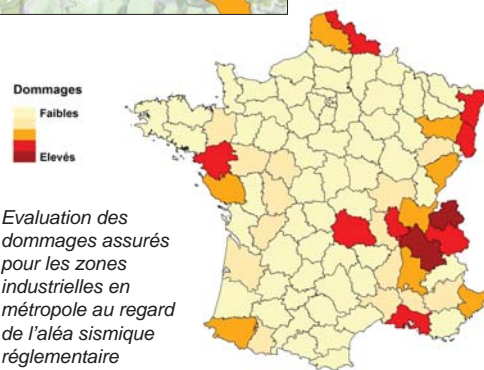
Site CCR public dédié aux catastrophes naturelles :



Exemples de typologies de maisons traditionnelles des différentes régions françaises en zone de sismicité faible (BRGM, CCR, 2017)



Evaluation des dommages assurés pour des zones industrielles (découpage IRIS) dans les Pyrénées-Orientales au regard de l'aléa sismique réglementaire (BRGM, CCR, 2019)



Evaluation des dommages assurés pour les zones industrielles en métropole au regard de l'aléa sismique réglementaire (BRGM, CCR, 2019)

# Identification des différences de traitement des événements internes et des agressions naturelles extrêmes, lors de l'évaluation du niveau de risque d'une installation industrielle

Ali Aljarf<sup>1\*</sup>, Clément Judek<sup>1</sup>, Carole Duval<sup>2</sup>, André Lannoy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IMdR – Institut pour la Maîtrise des Risques – 12 avenue Raspail Gentilly

<sup>2</sup> EDF-R&D – EDF Lab, 7 avenue Gaspard Monge, 91120 Palaiseau

\* Contact: ali.aljarf@imdr.eu

## Résumé:

Les agressions naturelles extrêmes peuvent provoquer des conséquences désastreuses sur les activités humaines et industrielles (*e.g.* Fukushima). En France, entre 1992 et 2012, 743 événements impactant des installations classées, appelés « NaTech » (ARIA), ont été recensés comme naturels et technologiques. Les principaux aléas naturels initiateurs sont les fortes précipitations, les inondations, la foudre et les températures extrêmes (ARIA). Pour lutter contre ces menaces, les industriels ont un besoin d'identifier les aléas naturels extrêmes, (IMdR, 2014) dans le but de mettre en place les mesures de protection et de prévention nécessaires, afin d'éviter l'occurrence d'un incident interne et un effet domino.

La diversité des phénomènes et des équipements cibles amène à vouloir comparer les approches existantes pour d'une part, l'estimation d'un niveau de risque d'origine naturelle pouvant menacer une installation industrielle, et celle associée à un événement interne ?

Dans ce cadre, l'IMdR démarre un projet collaboratif visant à formaliser les processus d'évaluation des risques dus à trois agresseurs naturels : le vent, l'inondation, le séisme. L'objectif de cette étude est de caractériser les différences de traitement des événements internes et des agressions naturelles extrêmes, et d'estimer leurs impacts. Le projet va s'appuyer sur l'analyse de risque et précisera les principales hypothèses, les données d'entrée nécessaires, l'analyse qualitative et les modèles, déterministes et probabilistes, d'incertitude et de propagation des incertitudes.

Les résultats attendus de ce projet sont la proposition de méthodologies adaptées permettant d'aider les décideurs à prendre en compte ensemble les aléas naturels et les événements internes dans la prise de décision et leur illustration sur les trois aléas naturels choisis.

## Références :

Projet IMdR, P14-01 : “Méthodes de traitement des risques associés aux événements internes et aux agressions naturelles extrêmes”, 22 février 2016.

Base de données ARIA : <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/le-barpi/la-base-de-donnees-aria/>

# Evaluation du niveau de risque d'une installation industrielle

## Traitement des événements internes et des agressions naturelles extrêmes

Ali Aljarf<sup>1\*</sup>, Clément Judek<sup>1</sup>, Carole Duval<sup>2</sup>, André Lannoy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IMdR – Institut pour la Maîtrise des Risques – 12 avenue Raspail, 94250 Gentilly.

<sup>2</sup> EDF-R&D – EDF Lab, 7 avenue Gaspard Monge, 91120 Palaiseau.

\* Contact : ali.aljarf@imdr.eu



Institut pour la Maîtrise des Risques  
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindyniques

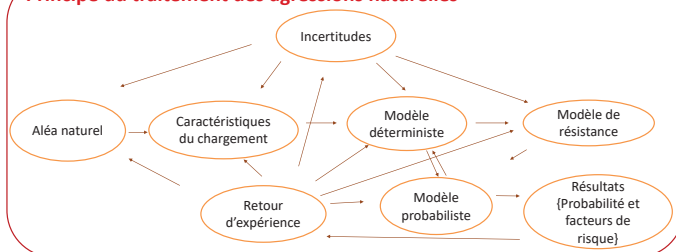
### Problématique opérationnelle

Les infrastructures critiques font l'objet d'analyse de risques pour améliorer leur prévention face à des événements internes, et peuvent être aussi des cibles potentielles pour les aléas naturels extrêmes. Notre projet souhaite comparer ces méthodes de prévention vis-à-vis d'événements redoutés, tant internes que naturels.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

- Mettre en place une méthodologie déterministe et probabiliste, d'analyse de l'impact des événements redoutés, tant internes que naturels.
- Comparer cette approche à l'évaluation habituellement utilisée, l'EPS (l'évaluation probabiliste de la sûreté), au niveau des méthodes, des hypothèses, de l'impact des données d'entrée, des résultats obtenus...

### Principe du traitement des agressions naturelles



### Premiers résultats

Une étude introductive (IMdR, 2016) a synthétisé les aléas de référence pour le dimensionnement aux agressions naturelles selon la sensibilité de 3 types d'installations industrielles : classique non soumise à autorisation ; type Seveso ; et nucléaire, pour 6 types d'aléa : séisme ; foudre ; vent violent ; inondation ; neige ; et température extrême.

### Résultats attendus

- Etablir des démarches permettant d'évaluer les impacts des agresseurs internes et des agressions naturelles externes ;
- Comparer ces démarches ;
- Agréger les risques pour améliorer la prise de décision.

### Prise en compte des aléas naturels et approches d'analyse d'un risque en fonction du type d'installation (IMdR, 2016)

	Installations industrielles non soumises à autorisation	Installations classées Seveso	Installations nucléaires	Lien avec les agressions naturelles
<b>Outils d'analyse de risques</b>	HAZID	HAZID	HAZID	Les causes sont recherchées, pouvant inclure les agressions naturelles
	Nœud papillon	Nœud papillon	Nœud papillon	Les causes sont recherchées, incluant les agressions naturelles
<b>Méthode intégrée d'analyse de risques</b>		ARAMIS	ARAMIS	Les agressions naturelles font parties des événements initiateurs des nœuds papillons préétablis
	LOPA	LOPA	LOPA	Les agressions naturelles font partie intégrante des causes définies comme à étudier par la méthode
			EPS	Application limitée au risque sismique à ce jour
<b>Séismes</b>	Définition statistique de l'aléa basée sur l'Eurocode 8	Définition statistique de l'aléa basée sur l'Eurocode 8	Approche déterministe de la RFS n° 2001-01 de l'ASN	
<b>Vents violents</b>		Définition statistique de l'aléa appliquée sur des formules de dimensionnement conservatrices des Eurocodes.		
<b>Inondation</b>	Respect des règlements des PPRI	Définition statistique de l'aléa par respect des règlements des PPRI ou les cartes d'aléas des TRI	Définition statistique de l'aléa suivant le guide n° 13 de l'ASN	

### Applications

Développer un outil d'aide à la décision permettant de choisir une des approches d'analyse et d'évaluation des risques en fonction du type d'installation, de la nature de l'aléa naturel et des effets internes potentiellement engendrés.

Pour en savoir plus :

\*\*Projet IMdR P14-1 « Méthodes de traitement des risques associés aux événements internes et aux agressions naturelles extrêmes », janvier 2016.

[https://www.imdr.eu/offres/doc\\_inline\\_src/818/projets-en-souscription-fp9.pdf](https://www.imdr.eu/offres/doc_inline_src/818/projets-en-souscription-fp9.pdf) (fiche projet FP9 (version :03-07-2017)).



## Faire un tri dans le monde des applications dédiées à l'alerte aux risques majeurs en France

**Esteban Bopp** : Doctorant en Géographie à l'université d'Avignon, [esteban.bopp@univ-avignon.fr](mailto:esteban.bopp@univ-avignon.fr)  
**Johnny Douvînet** : Maître de Conférences à l'université d'Avignon, [johnny.douvînet@univ-avignon.fr](mailto:johnny.douvînet@univ-avignon.fr)  
**Damien Serre** : Professeurs des Universités à l'université de la Polynésie Française, [damien.serre@upf.pf](mailto:damien.serre@upf.pf)

Comparé aux moyens d'alerte et d'information traditionnels comme la sirène, les applications smartphones dédiées à l'alerte et à l'information des populations en cas de risques majeurs présentent de nombreux atouts (Figure 1) :

- elles raccourcissent les délais de communication tout en ciblant de manière précise les individus à alerter ou à informer ;
- elles autorisent une communication multilatérale, permettant un échange interactif entre les utilisateurs et les centres de décision ;
- elles émettent des signaux et messages facilement compréhensibles par la population ;
- elles offrent des fonctionnalités stratégiques : GPS, envoi d'image ou de vidéos, relais des alertes vers les réseaux sociaux, etc.
- elles peuvent potentiellement toucher un grand nombre d'individus : 75% de la population âgée de 12 ans et plus possède un smartphone en 2018 (baromètre du numérique, 2018).

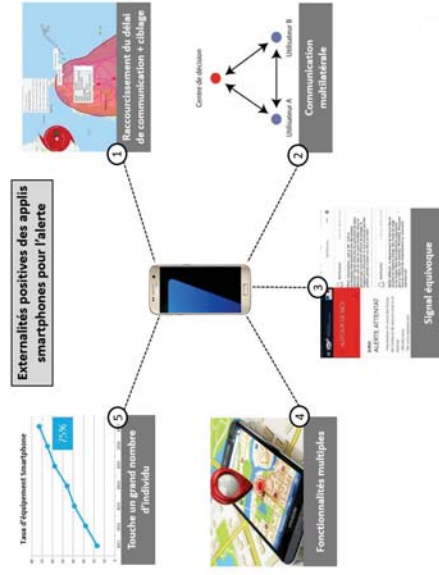


Figure 1. Externalités positives des applis smartphones pour l'alerte

Toutefois, depuis les années 2010 de nombreuses applications ont vu le jour en France dans le domaine des risques et de l'alerte (Figure 2). Largement développée par le secteur privé, mais aussi par les

collectivités et le Gouvernement<sup>1</sup>, l'offre proposée est aujourd'hui très vaste. Cela a pour conséquence une confusion dans la disponibilité de ces outils à l'échelle nationale et une méconnaissance de leur existence par les populations. Dès lors, comment rationaliser l'offre ?



Figure 2. Diversité des applis disponibles en France pour l'alerte

Une méthodologie expérimentale a été testée sur un panel de 50 applications disponibles en France permettant d'alerter les utilisateurs face à un danger. A travers une revue de la littérature scientifique et technique, 4 indicateurs ont été créés. Ces indicateurs évaluent le potentiel de chacune des 50 applications à être un moyen d'alerte connecté efficace, à savoir :

- la façon dont l'application alerte et informe les utilisateurs ;
- l'interactivité des applications ;
- la capacité des applications à prendre en compte l'ensemble des risques majeurs en France ;
- le potentiel d'attractivité des applications.

Chaque indicateur a été décliné en plusieurs paramètres qui ont été pondérés en fonction de leur importance.

Les résultats montrent que peu d'applications répondent aux critères retenus pour être un moyen d'alerte connecté efficace. Trop d'applications (30 sur 50) ne permettent pas l'interactivité, c'est-à-dire un partage d'information entre les utilisateurs et/ou la remontée d'information de l'utilisateur vers le centre de décision. En parallèle, beaucoup d'applications ne sont conçues que pour un seul aléa. Cela est dû au fait que de nombreuses entreprises ou organisations spécialisées dans un domaine précis des risques proposent une application smartphone.

Pourtant, c'est bien vers une solution unique, déployée à l'échelle nationale, qu'il faut tendre. La multiplication d'applications à diverses échelles augmente la confusion dans la manière dont sont alertés les individus aujourd'hui. Il semble donc opportun de diminuer l'offre et de proposer une application nationale robuste, efficace, en prenant en compte les erreurs qui ont conduit à l'abandon de l'application gouvernementale SAIP en 2018.

<sup>1</sup> L'application SAIP (Système d'Alerte et d'Information des Populations) a été créé en 2016 par le Gouvernement français suite à la recrudescence du risque d'attentat. Elle a finalement été abandonnée en 2018 pour causes de nombreux dysfonctionnements.



# Faire un tri dans le monde des applis d'alerte

## Expérimentation sur 50 applis smartphones dédiées à l'alerte en France

Esteban BOPP, Johnny DOUVINET,  
Damien SERRE  
esteban.bopp@univ-avignon.fr /  
johnny.douvinet@univ-avignon.fr / damien.serre@upf.pf

Université d'Avignon  
Université de la Polynésie Française



**Problématique :** Parmi les nombreuses applications smartphones récemment créées pour alerter la population, quelles sont celles qui ont le meilleur potentiel pour être un moyen d'alerte et d'information efficace en France ?

### Méthode et objectifs

50 applis smartphones permettant l'alerte des utilisateurs ont été sélectionnées et analysées *via* 4 indicateurs :

- 1) le potentiel d'alerte ;
- 2) le potentiel d'interactivité ;
- 3) le nombre d'aléas pris en compte ;
- 4) l'attractivité globale des applications.

Les indicateurs ont été déclinés en paramètres pondérés.

### Résultats

Peu d'applications répondent aux objectifs retenus pour être un moyen d'alerte connecté efficace :

- 34 applis ont au moins un indicateur nul.
- 30 applis sur 50 ne permettent pas aux utilisateurs d'échanger ou de remonter de l'information → peu d'interactivité.
- Manque de vision globale : seulement 23 applis sur 50 prennent en compte plusieurs aléas.

### Bilan et perspectives

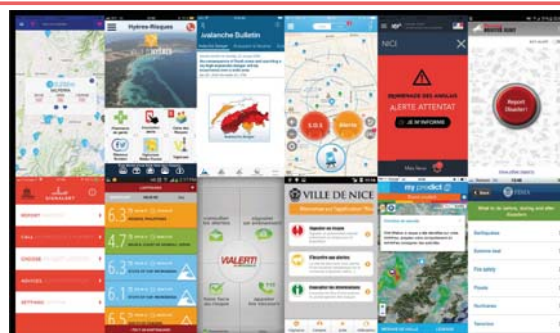
Pour l'utilisateur → situation confuse face à la diversité des applis proposées.

Pour les développeurs → applis peu téléchargées.

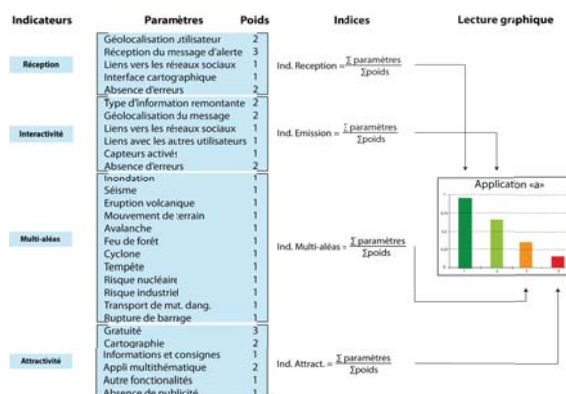
Nécessité de diminuer l'offre pour proposer une application nationale robuste, efficace, en prenant en compte les erreurs qui ont conduit à l'abandon de l'application gouvernementale SAIP en 2018.

#### Pour en savoir plus :

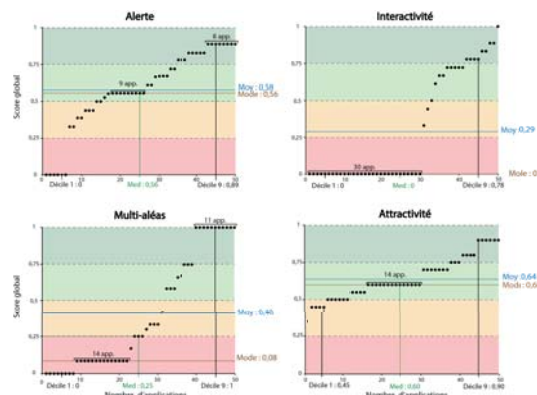
- BOPP E., DOUVINET J., SERRE D. (2018), Faire un tri dans le monde des applis. Netcom, vol32-3/4 [en ligne], <https://journals.openedition.org/netcom/3531>.
- Colloque Cap'Alert, Avignon, journée du 21 mars 2018, vidéo disponible sur le Canal U.



Diversité des applis disponibles en France pour l'alerte – Esteban Bopp



Méthodologie pour l'analyse des applications – Esteban Bopp, Johnny Douvinet



Résultats par indicateurs – Esteban Bopp, Johnny Douvinet

## Génie biologique & Protection contre les éboulements intégrée dans le couvert forestier

N. VILLARD<sup>1\*</sup>, I. OLMEDO, P. ROBIT, F. BOURRIER<sup>2</sup>, B. ALMERAS<sup>3</sup>

<sup>1</sup> NGE FONDATIONS, Lyon [nvillard@nge.fr](mailto:nvillard@nge.fr) - <sup>2</sup> IRSTEA, Grenoble - <sup>3</sup> ONF

### ABSTRACT

La fonction protectrice des forêts contre les risques naturels s'est développée dès 1850 en particulier contre les avalanches et phénomènes d'érosion (loi RTM, reboisements...). Plus récemment, des développements tels que dendro-chronologie, trajectographie ou modélisation d'impacts contre les arbres continuent d'offrir de nouvelles perspectives.

En zone montagneuse et dans un contexte de changement climatique, les risques géologiques nécessitent souvent des protections « passives » en amont de zones habitées ou d'infrastructures exposées. Depuis 30 ans des ouvrages de protection en filets pare-blocs s'étaient fortement développés pour assurer cette fonction, générant parfois des impacts environnementaux significatifs (déboisement, hélicoptages, terrassements).

L'intérêt écologique de certaines zones naturelles tout comme le potentiel naturellement offert par le couvert forestier sont ainsi à l'origine de chantiers expérimentaux et programmes de recherche visant à exploiter en complément la protection naturellement offerte par les arbres, en démontrant et quantifiant leur efficacité.

Le peuplement forestier peut en effet être utilisé comme élément structurel d'ouvrages passifs de protection. Ces structures, appelées écrans forestiers sont au cœur des travaux de recherche menés par IRSTEA en collaboration avec le groupe NGE (programme FUI) afin de caractériser leur capacité, vérifier leur fiabilité et optimiser leur conception.

Des modèles numériques spécifiques d'impact ont ainsi été développés depuis 2016 avec données expérimentales, campagnes d'essais en laboratoire et en grandeur réelle, études multi-échelle. In situ, des protocoles type de mise en œuvre et d'expertise préalable ont également été définis pour des aléas de 100 à 3000 kJ.

Certaines opérations ont ainsi déjà été transposées pour le compte de maîtres d'ouvrage publics valorisant la collaboration entre acteurs publics et privés. Plusieurs études de faisabilité sont également en cours, parfois même à l'étranger où l'expertise française, forestière et en risques naturels est reconnue, permettant des programmes de coopération ou de développement international.



# Génie biologique & éboulements

## Filets de protection intégrés au couvert forestier

N. VILLARD ; I. OLMEDO ; P. ROBIT ;  
F. BOURRIER ; B. ALMERAS  
nvillard@nge.fr

NGE FONDATIONS Lyon (ex GTS)  
ONF Clermont-Ferrand  
IRSTEA Grenoble



### Problématique opérationnelle, question posée :

La fonction de protection naturellement offerte par les forêts de montagne incite à développer de nouvelles parades structurelles intégrées aux arbres, avec moins d'impacts environnementaux.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Si le bois est déjà utilisé en protection « active » (clais paravalanches, correction torrentielle, soutènement...), d'autres ouvrages « passifs » peuvent générer des impacts et déboisages importants (écrans de filets pare blocs, merlons, murs...). Il s'agit ainsi d'exploiter la fonction de protection d'une forêt, à même d'atténuer naturellement des chutes de blocs rocheux. La capacité mécanique des arbres à supporter des filets et dissiper des impacts dynamiques est donc principalement recherchée.

### Résultats

3 modes d'utilisation permettent d'utiliser les arbres comme :

1. Supports de filets freinés (hauteur d'interception) < 5000 kJ
2. Ancrages éventuels des câbles en terrain médiocre (éboulis)
3. Structure porteuse dissipante (flexion des troncs) < 1000 kJ

Les principales vérifications à mener portent alors sur :

- Implantation du peuplement et calepinage géométrique
- Expertise sanitaire et essais de flexion (tige et enracinement)
- Dimensionnement des perçages de fixation (vent)
- Essais de traction sur ancrage racinaire (env. 40 t)
- Justification d'impacts sur arbres dissipants (R&D)
- Rupture acceptable des poteaux / arbres porteurs (ETAG / CE)

### Applications

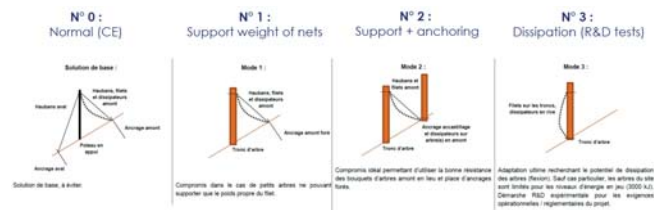
Prolongeant 150 ans d'histoire RTM, ces développements offrent des options environnementales de protection tout en restant modulables et conservatives quant aux garanties mécaniques attendues pour des maîtres d'ouvrages publics / privés.

Quelques coopérations internationales confirment également l'intérêt pour cette approche dans un contexte de risques accrus par le changement climatique.

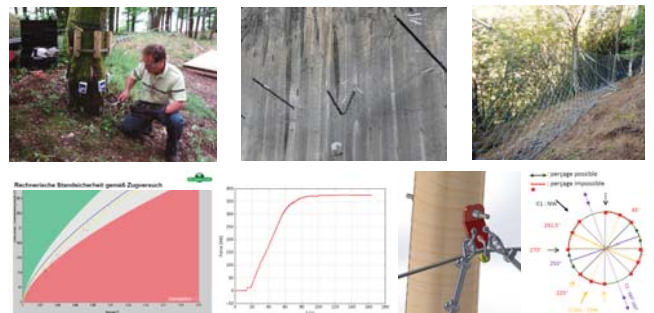
Pour en savoir plus : <https://www.lemoniteur.fr/article/risques-naturels-de-nouveaux-ouvrages-de-securite-en-developpement.1194714>



Exemples d'ouvrages bois / forestiers (ONF – NGE)



Utilisations conseillées (NGE)



Exemple de vérifications / essais (NGE – CEREMA – ONF)



Exemple d'ouvrages 3000 kJ (NGE)

## Gérer les risques majeurs avec les citoyens : cas de la commune de Nantes (France) et de la commune de Lomé (Togo)

Rose TOKI

Doctorante au Laboratoire d'Economie et de Management de Nantes

[rose-wolola.toki@etu.univ-nantes.fr](mailto:rose-wolola.toki@etu.univ-nantes.fr)

[06 52 41 52 89](tel:0652415289)

Résumé :

Améliorer la résilience des populations face aux risques majeurs est devenu une préoccupation importante pour les pouvoirs publics. La question de la performance de l'organisation des acteurs institutionnels sur toute la chaîne du risque (prévention, gestion de crise) est mise à l'agenda dans plusieurs communes françaises et fait même l'objet de recherches scientifiques. Bien que les citoyens se retrouvent au cœur des crises et qu'ils ne soient plus seulement des objets à protéger mais aussi des sujets à mobiliser comme ressources, peu de travaux se sont intéressés aux leviers pouvant soutenir la participation d'une telle partie prenante à la préparation à la gestion des risques. Notre thèse se donne pour objectif d'identifier les modalités de participation des citoyens à la gestion des risques en s'interrogeant tout d'abord sur les difficultés inhérentes à cette participation.

Nous proposons, dans une première phase exploratoire une analyse contextualisée des outils de gestion des risques que sont le DICRIM, le PFMS et la RCSC à l'aune des approches discursives des dispositifs de gestion. Outre les arguments les plus souvent évoqués (un terreau culturel défavorable, une peur psychologique du risque), l'étude de cas réalisée en 2017, à partir d'une collecte de documents relatifs à la politique et aux outils de gestion des risques couplée avec des entretiens semi-directifs auprès des responsables de Secteur Prévention et Gestion des Risques et d'association citoyenne Sud Loire de Nantes Métropole, révèle de nouveaux résultats. Nous montrons à la suite d'un traitement qualitatif (analyse de contenu) des données collectées que ces outils sont mal connus des citoyens ; que ces derniers n'ont pas, avec les acteurs institutionnels, la même représentation de ce que sont les risques majeurs et les outils dédiés à la gestion de ces risques ; et que la question de la participation ne revêt pas le même sens pour ces deux acteurs relativement hétérogènes. Notre hypothèse est que l'existence d'outils de gestion des risques, pour nécessaire qu'elle soit, ne suffit pas à transformer les citoyens en acteurs de la gestion des risques. D'autres leviers doivent être actionnés, que la thèse cherche à identifier.

Loin de remettre en cause la légitimité des outils de gestion des risques, nous poursuivons notre recherche avec l'étude d'un autre terrain (commune de Lomé) qui partage les mêmes problématiques que la commune de Nantes mais qui, dans un cadre culturel et institutionnel différent, porte la participation des citoyens en mission prioritaire et l'équipe de nouveaux dispositifs.

**Mots clés** : Risques majeurs, outils de gestion, citoyens, communes.

# Gérer les risques majeurs avec les citoyens

Cas de la commune de Nantes (France) et de la commune de Lomé (Togo)

TOKI Rose Wolola  
ROSE-WOLOLA.TOKI@ETU.UNIV-NANTES.FR



## D'une question empirique, ancrée dans les préoccupations des terrains de recherche :

Comment améliorer la vulnérabilité du citoyen, premier acteur de proximité des situations de crises, lorsqu'il est quasiment absent des dispositifs de sécurité civile ?

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Comment accompagner le citoyen à s'approprier les outils de gestion des risques (DICRIM, PFMS, RCSC) ?

Pour ce faire, une recherche-action fondée sur une étude de cas qualitative a été réalisée via quelques méthodes de collecte d'information:

- 3 séries d'entretiens compréhensifs et semi-directifs auprès des responsables du Secteur Prévention et Gestion des Risques et de l'Association Sud Nantes.
- Collecte de documents institutionnels relatifs à la politique de gestion des risques.
- 2 séries de restitutions individuelles et collectives.

L'objectif à court terme étant de produire une analyse contextualisée de ces outils à l'aune des approches discursives des outils de gestion afin d'identifier les difficultés inhérentes à la participation des citoyens.



Séance de restitution collective avec Sud Nantes/Mai 2018 – TOKI R

### Résultats

L'analyse de contenu des données collectées révèle que :

- Les représentations de ce que sont les risques majeurs et les outils dédiés à la gestion de ces risques diffèrent selon chaque acteur ;
- Les outils de gestion sont mal connus des acteurs ;
- Si la participation est synonyme de connaissance et de maîtrise des outils, elle revêt aussi une prise en compte des savoirs locaux et un partage des responsabilités.

		Lecture des textes portés par les outils de gestion des risques	
		Consonante avec le discours organisationnel	Dissonante avec le discours organisationnel
Écriture des textes portés par les outils de gestion des risques	En lien avec l'outillage préexistant	Appropriation des outils de gestion	Rejet des outils :
	Sans lien avec l'outillage préexistant	Pas d'appropriation/Ni de rejet	Oubli des outils : Situation de la commune de Nantes

Discours organisationnel : la sécurité civile est l'affaire de tous.

Analyse discursive des outils-inspirée de Detchessahar et Journé, 2007

### Applications – Perspectives de recherche

Les outils, pour nécessaire qu'ils soient, ne suffisent pas à faire du citoyen un acteur de la gestion des risques.

La gestion des risques relève d'un modèle expert par nature.

Comment les organisations de gestion des risques imprégnées de logique de professionnalisation tentent de produire une articulation professionnalisation/participation ? D'où l'étude des Diagnostics participatifs (DP) : dispositifs d'animation mis en place dans la commune de Lomé, comme clés pour articuler savoirs experts et savoirs locaux.



Séance DP communauté à la base de Tokoin/Lomé/Août 2018 - TOKI R

Titre Poster : **GERISBLOC** – Gestion du risque de chute de blocs = démonstrateur en période de crise sur la gestion du risque éboulement rocheux impactant des réseaux de communication

Auteurs (en gras ceux pouvant être contactés pour toute communication relative aux ANRN) :

- Colas Bastien** – BRGM Direction Régionale Occitanie – Ingénieur géotechnicien / chef de projet – responsable du programme interne BRGM « expertise et appui à la gestion des crises » – tél : 04 67 15 79 84 / mail : b.colas@brgm.fr
- Rey Anthony** – BRGM Direction Régionale Réunion – Ingénieur géotechnicien / chef de projet – tél : 02 62 21 76 68 / mail : a.rey@brgm.fr
- Levy Clara – BRGM Direction Risques et Prévention – Unité Risques instabilités gravitaires et érosion des versants et des sols - Ingénieure géotechnicienne / chef de projet – tél : 02 38 64 32 98 / mail : c.Levy@brgm.fr
- Rohmer Jérémie – BRGM Direction Risques et Prévention – Unité Risques câbles et changement climatique - Ingénieur - chef de projet – tél : 02 38 64 30 92 / mail : j.rohmer@brgm.fr

Résumé :

- Problématique opérationnelle :

Lors d'événements de type chute de blocs impactant ou menaçant des enjeux, l'expertise réalisée en situation de crise pour évaluer le niveau de risque résiduel et définir les mesures de sécurisation adéquates est généralement naturaliste.

L'objectif du projet GERISBLOC est de pouvoir disposer rapidement d'une **évaluation quantitative du risque pour les usagers d'un itinéraire routier en cas d'événement résiduel lié à un éboulement principal**. Cette approche intègre la **mise en œuvre de solutions de gestion** et évalue le **bénéfice** qu'elles apportent au regard du risque résiduel.

Suivant les approches « QRA » (Quantitative Risk Assessment), l'outil évalue la probabilité de dommages aux usagers (ici décès) associé à un accident engendré par des chutes de blocs sur un itinéraire routier. Le calcul du risque est exprimé en pertes annuelles permettant de qualifier son acceptabilité au regard des probabilités admises pour les phénomènes naturels géologiques (JTC-1).

- Méthode :

L'outil d'aide à la décision développé par le BRGM permet de comparer différentes solutions de gestion du risque à partir d'une estimation quantitative de la probabilité annuelle de décès. Le but est de fournir aux gestionnaires de réseau des éléments objectifs permettant une qualification du niveau de risque en un point donné de l'itinéraire et la traduction quantifiée du bénéfice de telle ou telle solution de gestion qu'ils pourront mettre en œuvre.

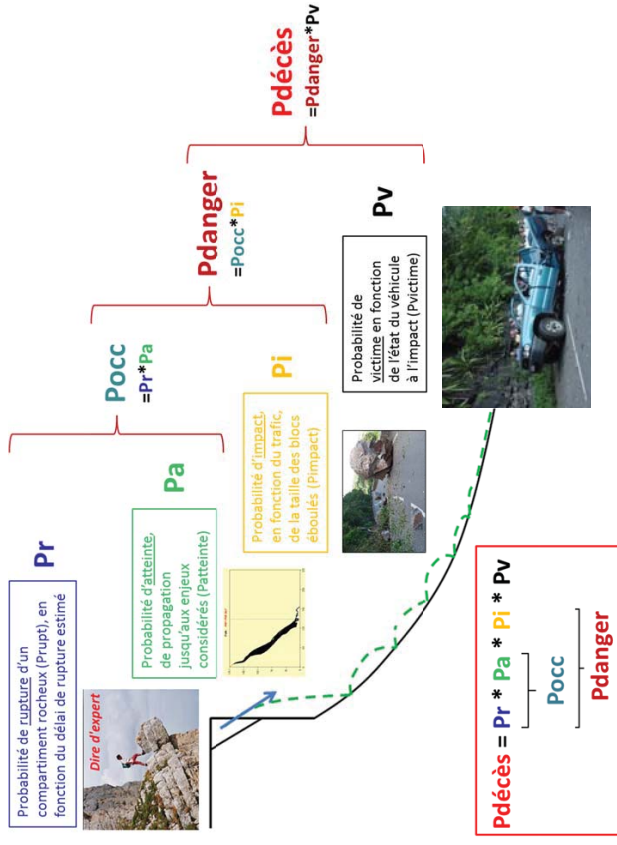
La méthode intégrée proposée dans GERISBLOC s'appuie sur l'analyse des différentes probabilités suivantes, caractérisant le risque de décès sur une route par l'impact d'une chute de bloc sur un usager (dans un véhicule) :

- ✓ la rupture de compartiment rocheux ;
- ✓ la propagation de blocs rocheux jusqu'à l'enjeu ;
- ✓ l'impact d'un véhicule ;
- ✓ le risque de décès d'une personne dans un véhicule heurté par un bloc.

Pour cela, les mécanismes de la chute de bloc, les caractéristiques locales régissant ces mécanismes (morphologie, géométrie des blocs, nature des sols, ...) et les critères définissant la vulnérabilité locale du réseau (trafic, vitesses...) sont considérés.

- Cadre du projet (acteurs, territoire) :

Projet de développement interne du BRGM. L'outil d'aide à la décision a été développé à partir de cas réels impactant les réseaux routiers de l'île de La Réunion (12 sites étudiés à partir d'une base événementielle) et est destiné aux experts mobilisés en gestion de crise, en appui des gestionnaires de réseau lors de chute de blocs impactant les itinéraires.



# GERISBLOC

## Gestion du risque de chute de blocs impactant les routes

Bastien COLAS, Anthony REY, Clara LEVY, Jérémy ROHMER  
[b.colas@brgm.fr](mailto:b.colas@brgm.fr); [a.rey@brgm.fr](mailto:a.rey@brgm.fr); [c.levy@brgm.fr](mailto:c.levy@brgm.fr); [j.rohmer@brgm.fr](mailto:j.rohmer@brgm.fr)

BRGM Occitanie, BRGM Réunion, BRGM Orléans



Lors d'évènements de type chute de blocs impactant ou menaçant des enjeux, l'expertise réalisée en situation de crise pour évaluer le niveau de risque résiduel et définir les mesures de sécurisation adéquates est généralement naturaliste, sans approche quantifiée du risque.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

L'objectif du projet GERISBLOC est de pouvoir disposer rapidement **d'une évaluation quantitative du risque pour les usagers d'un itinéraire routier en cas d'évènement résiduel lié à un éboulement principal.**

### Résultats

GERISBLOC permet de calculer le risque de décès sur une route par l'impact d'une chute de bloc sur un usager, exprimé en probabilité annuelle de décès et de qualifier son acceptabilité au regard des probabilités admises pour les phénomènes naturels géologiques (JTC-1).

L'outil permet de comparer différentes solutions de gestion du risque. Le but est de fournir aux gestionnaires de réseau des éléments objectifs permettant une qualification du niveau de risque en un point donné de l'itinéraire et la traduction quantifiée du bénéfice de telle ou telle solution de gestion qu'ils pourront mettre en œuvre.

### Applications

GERISBLOC est un outil d'aide à la décision destiné aux experts impliqués dans la gestion de crise suite à une chute de bloc impactant une route.

**Perspectives** : poursuite de la mise en œuvre opérationnelle, réflexion à l'échelle d'itinéraires complets dans l'aide à la priorisation de travaux, mise en œuvre sur d'autres réseaux (ferrés, sentiers).

#### Pour en savoir plus :

Analyse de la sensibilité des simulations de propagation de chutes de blocs aux propriétés mécaniques des matériaux, RSS2018 – Chambéry, Auteurs : Clara LEVY, Jérémy ROHMER, Bastien COLAS, Anthony REY

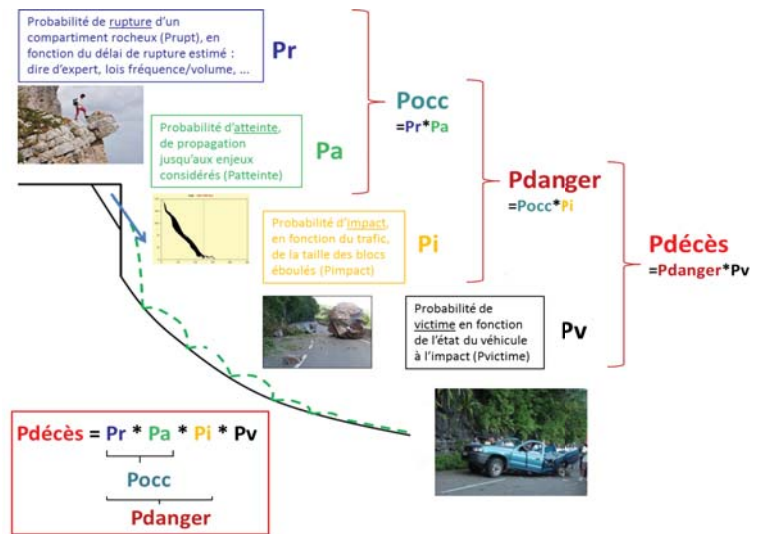
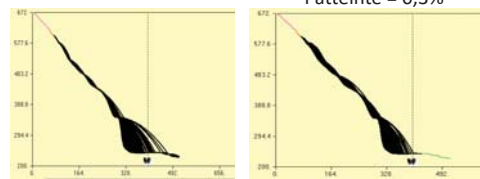


Schéma conceptuel de l'outil GERISBLOC - BRGM

Calage évènement  
 $V = 6,4m^3$   
 Patteinte = 2,6%

Aléa résiduel  
 $V = 0,8m^3$   
 Patteinte = 0,3%



SECTEUR / PROFIL :	SINDRE			
	RNS-10-900	RNS-10-900	RNS-10-900	RNS-10-900
Simulation :	Evènement	Aléa résiduel - sans gestion	Aléa résiduel - avec gestion (merlon gabion)	Bénéfice mesure de gestion
Volume simulé (m³) :	6400	0,80	0,80	
Trafic :	4900	4900	4900	
Vitesse véhicule :	70	70	70	
Longueur véhicule :	3,5	3,5	3,5	
Prérupture (Pr) :	6,32E-01	3,28E-02	3,28E-02	
Patteinte (Pa) :	2,6E-02	3,0E-03	1,0E-04	/ 30
Poccurrence (Pocc) :	1,6E-02	9,8E-05	3,3E-06	
Pimpact (Pi) :	1,6E-02	1,3E-02	1,3E-02	
Pdanger (Pdang) :	9,2E-02	4,7E-04	1,6E-05	
Pvictime (Pv) :	1,9E-02	2,0E-03	2,4E-04	
Pann-décès :	1,7E-03	9,6E-06	3,9E-07	/ 247,3
Risque équivalent JTC :	TRES FORT	TRES FAIBLE	TRES FAIBLE	



Exemple d'application – RNS

## Gestion des risques du patrimoine culturel : Projet Interreg Alpin Space CHEERS

Rivet F.<sup>1</sup>(\*), Iasio C.<sup>1</sup>, Bourrier F.<sup>2</sup>, Méresse P.<sup>3</sup>, de Saint-Germain R.<sup>3</sup>

1. BRGM

2. IRSTEA

3. Entente Valabre

(\*) : personne à contacter pour toute communication relative aux Assises

### Résumé :

La France est la première destination touristique mondiale à caractère culturel. Sa topographie offre un patrimoine naturel unique et extrêmement riche en terme de variété de paysages. Les Alpes abritent une multitude de biens culturels matériel et immatériel, fondements de l'identité des peuples alpins et contribuant fortement aux économies locales. Les catastrophes naturelles, qui affectent ce territoire et qui sont susceptibles d'être exacerbées par les effets du changement climatique, représentent une menace majeure pour ce patrimoine culturel exceptionnel. Pourtant, la protection des biens vis-à-vis des aléas naturels est encore une question trop peu souvent traitée dans les plans de sauvegarde des biens et personnes vis-à-vis des risques naturels. Ceci peut être expliqué par de multiples raisons : manque de connaissance fiable des biens en péril, méconnaissance de la valeur des biens, l'absence de personnel formé et expérimenté, à des interactions insuffisantes en les services d'intervention d'urgence et les gestionnaires du patrimoine culturel, ou encore manque de compréhension mutuelle. Il en résulte l'adoption de plans de gestion des risques ne tenant pas suffisamment compte des biens culturels.

Conscient de ces problèmes, les partenaires européens du projet INTERREG Alpine Space CHEERS, Cultural HEritagE. Risks an Securing activities, ont proposé de mener un projet permettant de valoriser et mutualiser les connaissances et savoir-faire européens pour améliorer la gestion du risque sur les biens culturels à l'échelle de l'espace alpin. Ce projet, d'une durée de 36 mois (2018 à 2021), est porté par la Fondation Lombarde pour l'environnement (Fondazione Lombardia per l'Ambiente) et a été élaboré conjointement avec douze partenaires dont, pour la partie française, le BRGM, l'Entente VALABRE et l'IRSTEA. Il s'intéresse à la sauvegarde du patrimoine face aux risques naturels, sur la gestion et la préservation des biens culturels pendant la crise. Les différentes méthodes et approches des pays partenaires seront comparées dans l'objectif de proposer et tester des plans de sauvegarde sur des sites pilotes de chaque pays partenaire.

Les principaux acteurs concernés par le projet sont à la fois les gestionnaires des biens culturels et les acteurs de la gestion de crise. Une vingtaine d'observateurs issus des pays partenaires représentant ces acteurs sont associés au projet. Des matériels pédagogiques pour l'éducation et la formation sur la protection des biens culturels face aux risques naturels seront proposés dans le projet. Ils seront testés par des exercices de simulation des plans de sauvegarde à l'échelle de sites pilotes.



# Gestion des risques du patrimoine culturel : Projet Interreg Alpin Space CHEERS

## Présentation du projet et activités prévues

Rivet F. <sup>1(\*)</sup>, Iasio C. <sup>1</sup>, Bourrier F. <sup>2</sup>, Méresse P. <sup>3</sup>,  
de Saint-Germain R. <sup>3</sup>  
\* F.Rivet@brgm.fr

1. BRGM  
2. IRSTEA  
3. Entente Valabre



Les catastrophes naturelles qui affectent le territoire alpin représentent une menace majeure pour le patrimoine matériel et immatériel, identité culturelle et historique des territoires et enjeux économique fort. En contexte de changement global, la survenue de ces événements et leur intensité sont encore plus grandes.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

La France est la première destination touristique mondiale à caractère culturel. Les Alpes abritent une multitude de biens culturels matériel et immatériel, fondements de l'identité des peuples alpins et fondamentaux pour leur développement économique. L'intégration des biens culturels dans les plans de gestion des risques n'est pas suffisante et cela s'explique par de multiples raisons : méconnaissance de la valeur et vulnérabilité des biens vis-à-vis des aléas naturels, manque de personnel formé et expérimenté, manque de compréhension et d'interaction entre les services d'intervention d'urgence et les gestionnaires du patrimoine culturel.

Les partenaires européens du projet INTERREG Alpine Space **CHEERS, Cultural HERitage. Risks an Securing activities**, ont proposé de mener un projet pour améliorer la gestion du risque sur les biens culturels à l'échelle de l'espace alpin. Les différentes méthodes et approches des pays partenaires seront comparées dans l'objectif de proposer et tester des plans de sauvegarde sur des sites pilotes de chaque pays partenaire.

### Applications - Résultats

Les principaux acteurs concernés par le projet sont à la fois les gestionnaires des biens culturels et les acteurs de la gestion de crise. De nombreux observateurs, de l'ordre de la vingtaine, issus des pays partenaires représentant ces acteurs sont associés au projet.

Des matériels pédagogiques pour l'éducation et la formation sur la protection des biens culturels face aux risques naturels seront proposés dans le projet. Ils seront testés par des exercices de simulation des plans de sauvegarde à l'échelle de sites pilotes.

Pour en savoir plus :

<https://www.alpine-space.eu/projects/cheers/>

Pour des références sur les activités du projet en France :

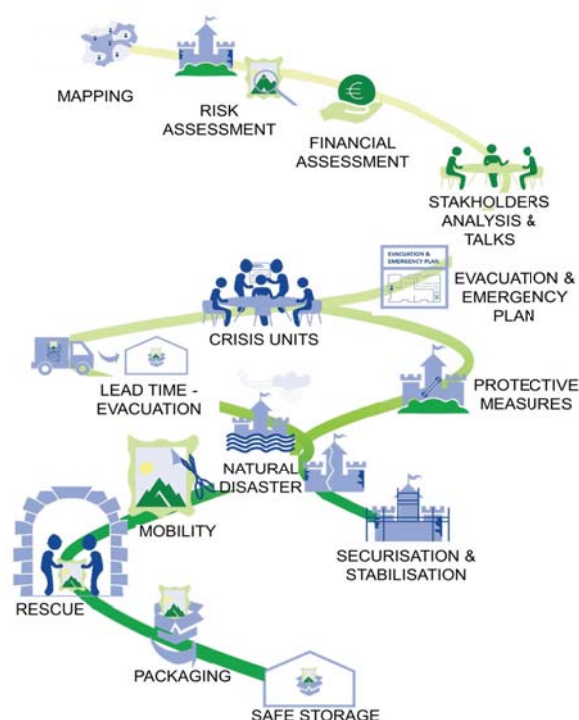
<http://www.brgm.fr/projet/cheers-sauvegarder-patrimoine-culturel-face-risques-naturels>

## Interreg Alpine Space Cheers



European Regional Development Fund

### Cultural HERitage. Risks and Securing activities



Les différentes composantes du projet CHEERS couvrent toutes les phases de la gestion des risques naturels sur les biens culturels.



SMMAR (EPTB) : Hélène Mathieu Soubias – Rémy Clarac

IGO (SAS) : Jean Louis Marguier – Christophe Destruel

LDI (SAS) : David Lhomme

## **HYDROPORTAL 3D : Plateforme 3D de géo-information pour la gestion des ressources en eau et la gestion du risque hydroclimatique**

### **Territoire : Bassin versant de l'Aude**

Fruit d'une collaboration entre le SMMAR, IGO et LDI, HYDROPORTAL 3D (HP3D) est une plateforme géo-spatiale collaborative d'information pour une gestion intelligente de la ressource eau.

Les fonctionnalités étendues et les performances de la technologie Terra Explorer au cœur de l'application permettent d'agréger et croiser à l'échelle d'un bassin versant ou d'une région des données big data hétérogènes multi-sources: spatiales, référentiels terrestres, in-situ, et issues de webservices.

HP3D s'adressent aux porteurs des politiques de prévention du risque inondation, aux gestionnaires de la ressource en eau ainsi qu'aux acteurs de l'aménagement et de la planification du territoire.

HP3D a été initialement conçu pour répondre aux besoins spécifiques des EPTB dans le cadre de la GEMAPI : concertation et coordination dans les actions de prévention, anticipation et utilisation en gestion de crise, mise en valeur des actions du gestionnaire, mitigation de l'impact du changement climatique...

Les services HP3D améliore la quantification des phénomènes hydrologiques à des fins de gestion intégrée des bassins versants en contexte de changement climatique, tant en ce qui concerne l'impact sur les événements météorologiques générateurs d'inondations que la gestion de la ressource en eau en période d'étiage.

Le service de base de la plateforme concentre les données cartographiques disponibles en France à l'échelle locales en temps réel (SCHAPI, SPC, DREAL...), nationale (SIE et IGN) et spatial (services Copernicus).

HP3D a bénéficié d'un financement PIAVE SPATIAL pour mobiliser des ressources scientifiques et géomatique. La plateforme est connectée via un flux à l'API Hub'Eau (BRGM ONEMA).

HP3D sera implémenté en WebGL/html5 pour la visualisation 3D temps réel innovante sans plugin du territoire de l'Aude par le SMMAR début 2019.

Le service « Outil de gestion de crises » testé en situation réelle fin 2018 permet de visualiser les historiques des événements, enveloppes de crues, cartes des aléas, ouvrages,... mais aussi les éléments constituant des enjeux importants du territoire (écoles, hôpitaux, mairie, etc.).

L'outil fonctionne en temps-réel, pour présenter des données toujours à jour, sur une plateforme de type main courante afin de partager l'évolution d'une situation et les actions en cours. Il améliore la coordination entre les acteurs et les-services en situation de crise. Enfin, la représentation dans un environnement 3D de l'enveloppe de crue, se rapprochant de celle de l'évènement, appuie l'expertise des opérateurs, leur connaissance précise du territoire et leur évaluation des modalités d'intervention (zone rapidement inaccessible aux secours par exemple).

# HYDROPORTAL 3D (HP3D)

## Plateforme 3D de géo-information

*Gestion des ressources en eau - Gestion du risque hydroclimatique*

Hélène Mathieu Subias \* - [helene.mathieu-subias@smmar.fr](mailto:helene.mathieu-subias@smmar.fr)

Rémy Clarac\* - [remy.clarac@smmar.fr](mailto:remy.clarac@smmar.fr)

Jean-Louis Marguier \*\* - [jean-louis.marguier@igo.fr](mailto:jean-louis.marguier@igo.fr)

Christophe Destruel \*\* - [christophe.destruel@igo.fr](mailto:christophe.destruel@igo.fr)

David Lhomme \*\*\* - [contact.global@sas-ldi.fr](mailto:contact.global@sas-ldi.fr)

\*SMMAR

\*\*IGO

\*\*\*GGF/LDI



**Problématique opérationnelle, question posée :** Création d'une plateforme géo-spatiale collaborative d'information pour une gestion intelligente du grand cycle de l'eau pour répondre aux besoins spécifiques des EPTB dans le cadre de la GEMAPI et de la gestion de la ressource en eau.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs :

Elaborer un SIE 3D performant et facile d'accès pour agréger et distribuer les données sur l'eau à toutes les échelles en temps réel et construire des services répondant aux besoins des EPTB : concertation et coordination dans les actions de prévention, anticipation et aide à la décision en gestion de crise, mise en valeur des actions du gestionnaire, mitigation de l'impact du changement climatique...

### Résultats :

Les fonctionnalités étendues et les performances de la technologie Terra Explorer (3D temps réel WebGL/html5) au cœur de l'application permettent d'agréger et croiser à l'échelle d'un bassin versant ou d'une région des données big data hétérogènes multi-sources : spatiales, référentiels terrestres, in-situ, et issues de webservices.

### Applications :

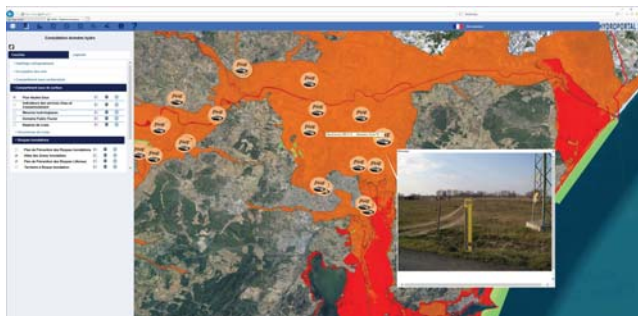
- Service de base : concentrateur des données cartographiques disponibles en France à l'échelle locale en temps réel (SCHAPI, SPC, DREAL...), nationale (SIE et IGN) et spatiale (services Copernicus).
- Services dédiés à la valorisation des actions et la concertation entre collectivités locales, acteurs du privé et usagers
- Outil gestion de crise : Deux objectifs, mise en place d'une main courante multi-institutionnelle et superposition des enjeux structurants : bâtiments publics (écoles, hôpitaux..), équipements type réseaux, et logements avec les aléas inondations.

### Pour en savoir plus :

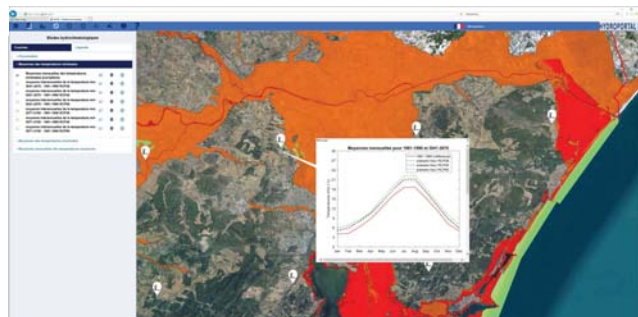
La version bêta du service « outil de gestion de crise » testée en situation réelle fin 2018, a permis de visualiser certains bâtiments pouvant être impactés par des inondations et d'en informer les gestionnaires.



Enveloppes de crue, BD Ortho® IGN  
SMMAR, IGO



PPR Littoral, enveloppes de crue, repères des Plus Hautes Eaux  
SMMAR, IGO, IGN



PPR Littoral, enveloppes de crue, PPR et simulation températures  
SMMAR, IGO, IGN

# Apports de l'imagerie pour qualifier les mouvements de terrain et quantifier leur évolution

Marie-Aurélié CHANUT\*, Laurent DUBOIS, Jean-Paul DURANTHON, Geneviève RUL

\* Auteur à contacter

Cerema Centre-Est, 25 Avenue François Mitterrand, 69500 Bron

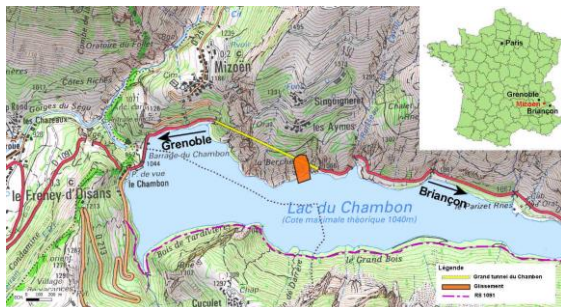
Les méthodes d'analyse d'images (photogrammétrie, corrélation d'images) permettent le suivi de l'évolution de sites instables notamment rocheux à faible coût.

La photogrammétrie est un procédé qui permet de construire à partir d'images en deux dimensions (2D) un modèle en trois dimensions (3D) de la surface étudiée. Des campagnes d'acquisition d'images réalisées à plusieurs dates permettent de générer une série de modèles 3D. Dans le cas d'un mouvement de terrain, la photogrammétrie et les outils d'analyse des modèles 3D développés permettent de :

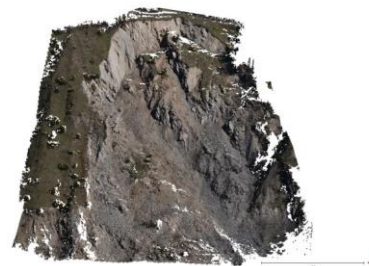
- effectuer une analyse structurale de la zone,
- quantifier l'évolution du mouvement en identifiant les mécanismes et en fournissant un ordre de grandeur des déplacements en surface.

L'intérêt de cette technique est son **coût peu élevé** car elle ne nécessite que la prise d'images de qualité. Le post-traitement est ensuite du temps de calcul machine.

L'approche par photogrammétrie permet une première analyse du mouvement de terrain considéré à destination des autorités en charge de la sécurité publique ou des gestionnaires d'infrastructures. De plus, si cela est nécessaire, elle peut aider au dimensionnement d'une instrumentation in-situ (localisation et nombre des capteurs).

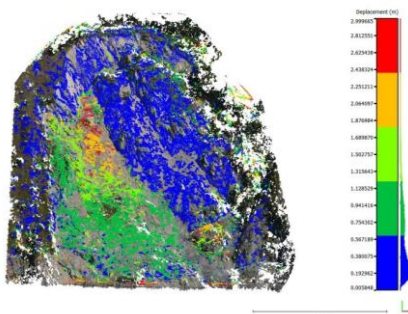


a - Localisation du glissement du Chambon

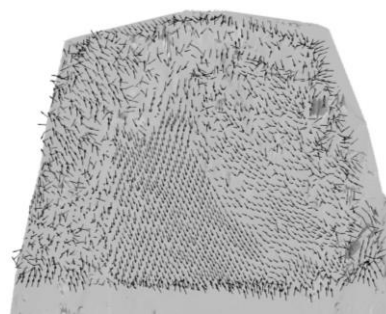


b - Modèle 3D de la surface du glissement construit par photogrammétrie (2016)

La méthode de traitement des modèles 3D de surface générés par photogrammétrie développée au Cerema a été validée sur le glissement du Chambon (Figures a et b) à l'aide des mesures instrumentales disponibles. Elle permet de fournir les valeurs et directions de déplacements (Figures c et d) sur l'ensemble du glissement et est actuellement utilisée pour le suivi à l'échelle annuelle du site.



c- Valeurs des déplacements entre aout 2016 et juillet 2017



d- Directions (orthonormées) des déplacements entre aout 2016 et juillet 2017

# Imagerie et mouvements de terrain

## Qualifier et quantifier

Marie-Aurélié CHANUT  
[marie-aurelie.chanut@cerema.fr](mailto:marie-aurelie.chanut@cerema.fr)  
Laurent DUBOIS  
[laurent.dubois@cerema.fr](mailto:laurent.dubois@cerema.fr)

Jean-Paul DURANTHON  
[jean-paul.duranthon@cerema.fr](mailto:jean-paul.duranthon@cerema.fr)  
Geneviève RUL  
[genevieve.rul@cerema.fr](mailto:genevieve.rul@cerema.fr)

Cerema Centre-Est



### Problématique opérationnelle, question posée :

Les méthodes d'analyse d'images (photogrammétrie et corrélation d'images), qui sont des approches à bas coût, permettent de réaliser un suivi fiable des mouvements de versants. Avec quelle précision ?

### Méthode

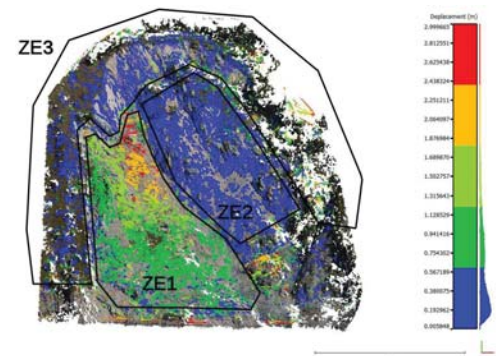
- Acquisition d'images 2D du site instable à différentes dates
- Construction des modèles 3D par photogrammétrie et recalage
- Comparaison des modèles par corrélation d'images de cartes de pentes : génération des champs de déplacements 3D (valeurs et directions)
- Méthode validée sur site réel avec mesures in-situ



Localisation du glissement du Chambon - Kasperski

### Résultats sur le glissement du Chambon

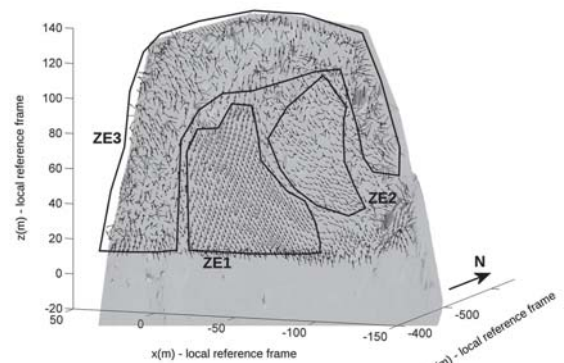
- Période du suivi : août 2016 – juillet 2017
- Analyse de l'évolution basée sur les directions et les valeurs de déplacements :
- ZE1 : directions de déplacements homogènes, valeurs élevées avec un gradient des déplacements décroissant vers le bas → zone la plus rapide jusqu'à 2,5 m sur la période
- ZE2 : directions homogènes mais différentes de ZE1, valeurs plus faibles → zone plus lente
- ZE3 : directions hétérogènes, valeurs faibles → zone stable
- Résultats en accord avec les observations terrain et la connaissance du comportement du glissement de terrain



Glissement du Chambon (août 2016 – juillet 2017) : valeur des déplacements - Chanut

### Applications

- Première analyse et suivi cinématique possibles si l'ordre de grandeur des déplacements est suffisant
- Aide au dimensionnement d'une instrumentation in-situ (localisation et nombre des capteurs)



Glissement du Chambon (août 2016 – juillet 2017) : direction des déplacements - Chanut

### Pour en savoir plus :

Chanut M.-A., Kasperski J., Dubois L., Dauphin S., Duranthon J.-P., 2017, *Quantification des déplacements par la méthode PLAS – application au glissement du Chambon*, Revue Française de Géotechnique, 150,4

# Impact du changement climatique sur les crues du bassin versant de l'Orbieu dans l'Aude.

Antoine Colmet Daage, WSP France, Blagnac (antoine.colmet.daage@wsp.com)

Cécile Llovel, WSP France, Blagnac

Valérie Borrell-Estupina, Université de Montpellier, HSM, CNRS, IRD, Montpellier

Emilia Sanchez-Gomez, CECI-CERFACS, Toulouse

Sophie Ricci, CECI-CERFACS, Toulouse

Eric Servat, Université de Montpellier, HSM, CNRS, IRD, Montpellier

Le bassin versant de l'Orbieu dans l'Aude, est fréquemment soumis à de fortes crues liées à des précipitations intenses et à ses caractéristiques hydrologiques locales. La région méditerranéenne est considérée comme une des régions les plus affectées par le réchauffement climatique. Hydrologiquement, cela devrait se traduire notamment par une intensification des précipitations extrêmes pouvant générer des crues exceptionnelles. Pour mettre en place les stratégies de prévention et d'adaptation au futur risque inondation, une thèse CIFRE avec WSP a permis de développer une méthode d'estimation des crues futures dans ce bassin versant. Cette méthode, dites de « futurisation », consiste à appliquer à des crues de références une fonction de transfert construite en comparant la distribution des quantiles de précipitations extrêmes du climat passé et futur. Cette fonction de transfert par quantile est évaluée à partir des simulations à haute résolution des modèles climatiques régionaux Euro et Med CORDEX. La méthode de futurisation est appliquée à six épisodes majeurs de précipitations ayant générés des crues éclair dans le bassin versant de l'Orbieu. Les impacts hydrologiques des équivalents statistiques futurs de ces précipitations sont ensuite évalués à travers un modèle hydrologique événementiel conceptuel. Le choix d'une modélisation hydrologique conceptuelle a été motivé par ses futures applications opérationnelles. Une estimation des changements d'humidité du sol liés au changement climatique est réalisée et couplée au modèle pour quantifier les impacts hydrologiques. Finalement, une modélisation hydraulique permet de quantifier et de spatialiser, entre autres, l'étendue des zones inondables simulées pour les précipitations de références avec ou sans l'impact du changement climatique. L'ensemble des incertitudes inhérentes à chaque compartiment de la méthode est pris en compte dans le résultat final pour fournir aux décideurs l'information la plus complète possible.

# Impact du changement climatique sur les crues de l'Orbieu

## Futurisation des crues à partir des modèles climatiques CORDEX

Antoine Colmet-Daage [antoine.colmet.daage@wsp.com](mailto:antoine.colmet.daage@wsp.com)  
 Cécile Llovel  
 Valérie Borrell-Estupina / Eric Servat  
 Emilia Sanchez-Gomez / Sophie Ricci

WSP France  
 Hydrosiences Montpellier  
 Université de Montpellier  
 CECI-CERFACS



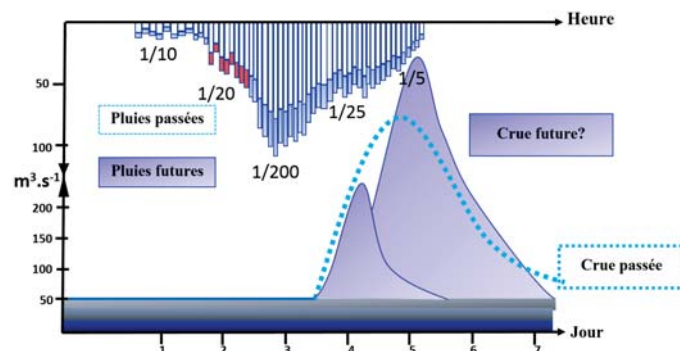
### Problématique opérationnelle, question posée :

Les impacts du changement climatique sur les pluies, l'humidité du sol et les crues extrêmes du bassin versant méditerranéen de l'Orbieu (Aude)

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

La méthode de futurisation développée consiste à calculer l'équivalent statistique futur des pluies ayant conduit aux crues historiques de l'Orbieu. Les pluies et l'humidité du sol futures sont générées à partir des simulations des modèles climatiques CORDEX pour différents horizons et scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (RCP4.5 et RCP8.5).

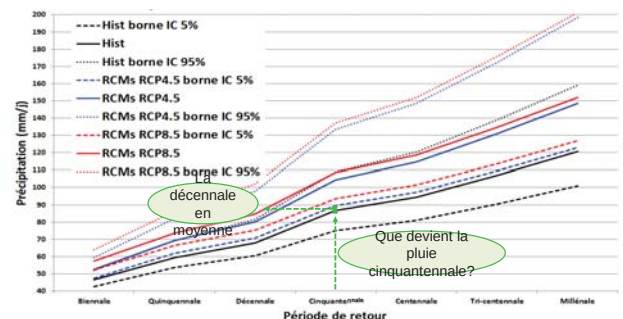
Un modèle hydrologique calé et validé sur le bassin de l'Orbieu permet ensuite de simuler les crues futures à partir de ces pluies et de l'humidité du sol. Toutes les incertitudes sont prises en compte dans les résultats.



Méthode de futurisation des pluies et du débit de crue – A. Colmet-Daage

### Résultats

La futurisation des pluies montre une intensification des pluies plus fortes à l'automne qu'au printemps. L'humidité du sol diminue par la hausse de l'évapotranspiration sous l'effet du réchauffement climatique. L'évolution des crues montre que, selon ce modèle hydrologique, l'intensification des débits futurs est fortement atténuée par l'assèchement du sol.

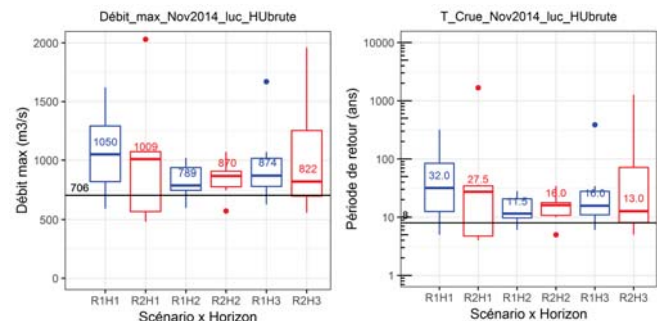


Occurrences (selon Gumbel) des pluies futurisées comparées aux historiques – A. Colmet-Daage

### Applications

Les occurrences des pluies futures sont appliquées à des dimensionnements de réseaux d'eaux pluviales et à la quantification du ruissellement en milieu urbain ou agricole.

Les occurrences des crues futures permettent d'évaluer l'efficacité de barrages écrêteurs, le rôle des digues et les risques associés en cas de rupture, et la définition des zones inondables dans les zones d'enjeux (urbain, économique).



Crue de novembre 2014 futurisée et les occurrences correspondantes – M. Sadki

### Pour en savoir plus :

- <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/22/673/2018/> (Article scientifique)
- <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01888067> (Thèse)
- <https://youtu.be/nLL-m-xVcQY> (Ma thèse en 180 sec)
- <https://www.youtube.com/watch?v=HmacO5Nn19g&t=1828s> (Soutenance de thèse)

## Titre Poster : Evaluation de l'impact des PPR sur le prix de l'immobilier à la Réunion

**Auteurs** (en gras ceux pouvant être contactés pour toute communication relative aux ANRN) :

**Jean-Daniel Rinaudo**<sup>1</sup>, **Anthony Rey**<sup>2</sup>, Arnaud Ritter<sup>3</sup>, Emeline Magat<sup>2</sup>, Jean-François Desprats<sup>1</sup>, Daniel David<sup>3</sup>, Alix Boyer<sup>3</sup>, Florent Baby<sup>4</sup>

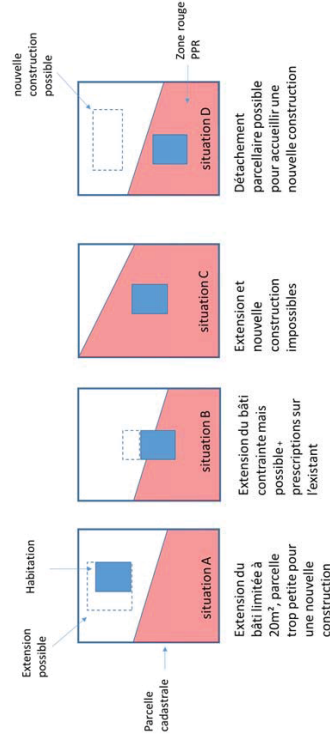
1. BRGM, unité NRE, Montpellier, 34000 Montpellier. Tél. : 04 67 15 79 90. [jd.rinaudo@brgm.fr](mailto:jd.rinaudo@brgm.fr)
2. BRGM Direction Régionale Réunion, 97400 Saint-Denis. Tél. : 02 62 21 76 68. [a.rey@brgm.fr](mailto:a.rey@brgm.fr)
3. AGORAH, agence d'urbanisme, 97400 Saint-Denis. Tél. : 02 62 21 35 00. [david@agorah.com](mailto:david@agorah.com)  
[ritter@agorah.com](mailto:ritter@agorah.com)
4. DEAL Réunion, service SPRINR, Unité Prévention des Risques Naturels. Tél. : 02 62 40 28 51  
[florent.baby@developpement-durable.gouv.fr](mailto:florent.baby@developpement-durable.gouv.fr)

## Résumé :

L'île de la Réunion est la région française la plus exposée aux risques naturels. Les aléas inondation et mouvements de terrain (MVT) sont particulièrement marqués du fait de son relief et du climat. Depuis 2001, les zones d'aléa fort (MVT et/ou inondation) ont été délimitées dans le cadre des Plans de Prévention des Risques (PPR) en zones rouges. Du fait des prescriptions associées (interdiction de construire, d'étendre l'existant ou normes de construction plus strictes) et du risque associé à ces zones, les biens immobiliers qui s'y trouvent subissent un impact sur leur valeur, variable selon les secteurs géographiques, la nature du risque et les caractéristiques des biens exposés. Dans ce contexte, la DEAL le BRGM et l'AGORAH se sont associés pour conduire une étude visant à identifier les facteurs expliquant l'ampleur de cet impact subi par les biens immobiliers situés en zone rouge. **L'objectif est de fournir aux populations concernées ainsi qu'aux acteurs du marché immobilier (notaires, experts, banques, assureurs) un éclairage sur la valeur des biens situés en zone rouge des PPR, ainsi que des éléments de méthode pour les évaluer.**

L'étude a été réalisée en quatre étapes :

- La première a consisté à recenser les biens immobiliers situés en zones rouges et à caractériser la diversité de leurs situation (figure 1).
- Des entretiens ont ensuite été réalisés avec un vingtaine de notaires et d'agents immobiliers. Cela a permis d'identifier les principaux facteurs expliquant la variabilité de l'impact associé à une situation de biens en zone PPR : dangerosité de la situation pour les habitants, pourcentage de la parcelle située en zone rouge, caractéristiques intrinsèques du bien, rapport entre offre et demande pour ce type de biens et niveau d'acceptation individuelle du risque par les habitants.
- Deux experts immobiliers ont été sollicités pour évaluer la valeur de biens réels situés en zone rouge, représentatifs d'une diversité de situations géographiques, économiques et en matière de risque. Les résultats, relativement convergents, montrent une « décote » qui varie globalement entre 5 et 30%.
- La quatrième étape a consisté à comparer le prix de vente de biens situés en dehors et dans les zones rouges, à partir des données DVF fournies par la DGFIP. L'analyse porte sur 9200 transactions (maisons individuelles) dont 70 sont impactées par le PPR (8%). Les résultats montrent une « décote » variant de 1 à 15% selon le type de bien.



**Figure 1 :** Différentes configurations possibles d'une parcelle cadastrale construite située en zone rouge du PPR.



# Impact économique des zones rouges des PPR

## Etude de l'impact des zones rouges des PPR sur les transactions immobilières

Jean-Daniel RINAUDO, Anthony REY, Arnaud RITTER,  
Daniel DAVID, Florent BABY  
[jd\\_rinaudo@brgm.fr](mailto:jd_rinaudo@brgm.fr); [a\\_rey@brgm.fr](mailto:a_rey@brgm.fr); [ritter@agorah.com](mailto:ritter@agorah.com) ;  
[david@agorah.com](mailto:david@agorah.com); [florent.baby@developpement-durable.gouv.fr](mailto:florent.baby@developpement-durable.gouv.fr)

BRGM Occitanie et BRGM Réunion  
AGORAH – Agence d'urbanisme de La Réunion  
DEAL de La Réunion

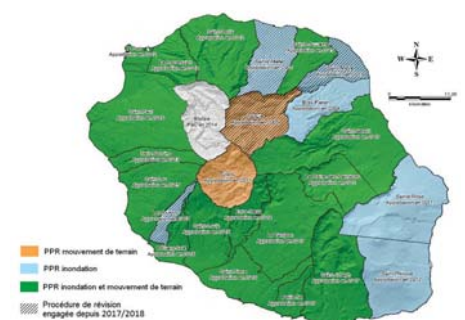


La Réunion est très exposée aux risques naturels avec une urbanisation rapide poussée par la croissance démographique (1 million d'habitants en 2037 (Insee)). La mise en œuvre nécessaire des PPR induit une inquiétude des propriétaires fonciers sur le risque de dévalorisation de leur bien situé en zone rouge.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Afin d'objectiver le débat et de disposer d'éléments quantifiés appréciant l'impact potentiellement subi par les biens sur le marché de l'immobilier, l'étude a intégré :

- Analyse SIG des biens situés en zone rouge des PPR,
- Enquête qualitative auprès des acteurs de l'immobilier,
- Analyse statistique des biens vendus à La Réunion,
- Expertise de biens vendus à La Réunion.



Etat des PPR inondation et mouvements de terrain à La Réunion

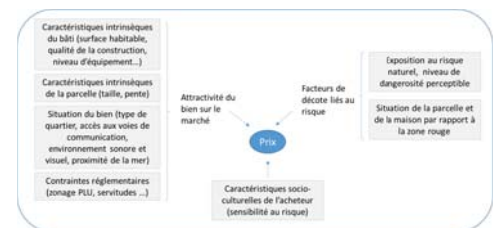
### Résultats

L'impact sur les prix de l'immobilier dépend de nombreux paramètres. Au-delà du zonage associé au PPR qui a une influence variable selon les situations (cf. logigramme), la perception du risque est prépondérante.

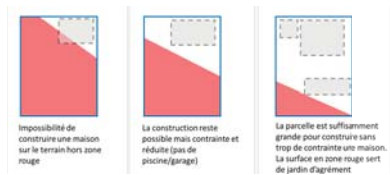
Le parc immobilier actuel est peu concerné par les zones rouges des PPR (8000 bâtis impactés contre 225 000 recensés à La Réunion)

Les zones rouges d'un PPR = contrainte réglementaire, impossibilité de nouvelle construction => impact + fort sur les grandes parcelles :

- 11 % de décote pour les biens dont la parcelle est > 1000m<sup>2</sup>
- 15 % de décote pour les biens dont la parcelle est > 1500m<sup>2</sup>
- Jusqu'à 20 voire 45 % localement



Composition du prix d'un bien immobilier

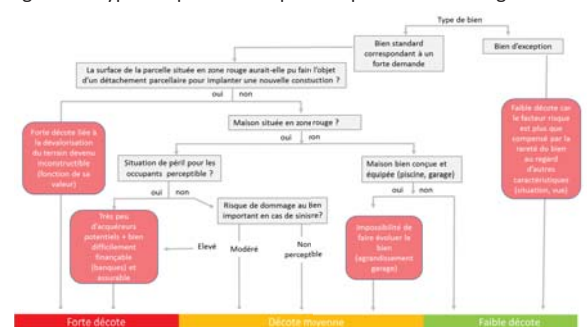


Configuration type des parcelles impactées par une zone rouge d'un PPR

### Applications

Argumentaire pour la mise en œuvre des PPR  
Image objective pour aider à apprécier l'impact des zones rouges des PPR

Perspectives : information auprès des acteurs de l'immobilier, mise en place d'un modèle d'analyse multicritères, intégration des PPR littoraux



Synthèse de l'évaluation de la décote par les professionnels de l'immobilier

## **Indices de danger feux de forêt opérationnels élaborés par Météo-France sur la région Sud-Ouest**

Présenté par Didier GRIMAL, METEO-FRANCE, Direction Inter-Régionale Sud-Ouest –  
didier.grimal@meteo.fr – 05 57 29 12 21

Les feux de forêts font partie des risques majeurs en France, notamment en région méditerranéenne et dans la région Sud-Ouest avec le massif des Landes de Gascogne. Depuis de nombreuses années, Météo-France travaille sur ce sujet dans le cadre d'une convention avec la DGSCGC et a mis en place une organisation opérationnelle pour assurer une assistance H24 aux organismes de lutte contre ce fléau. Cela se traduit, entre autres, par le calcul et la diffusion quotidienne d'indices observés et prévus, caractérisant la capacité d'éclosion et le risque de propagation d'un incendie selon les conditions atmosphériques du moment. Ces indices sont basés sur une méthode canadienne qui utilise en données d'entrée le vent, la température, l'humidité et les précipitations. Cependant, les caractéristiques des incendies sont dépendantes de la région. Ainsi, dans le Sud-Ouest, il y a deux pics d'occurrence du risque feux de forêts : en fin d'hiver / début de printemps puis, de manière plus classique, en été. Ceci est dû à la végétation, très différente de celle des régions méditerranéenne ou canadienne. En effet, la végétation de type fougère, représentative des sous-bois de pins maritimes, reste sèche durant l'hiver et va constituer un combustible de choix pour des départs de feux rapides. La végétation qui reverdit au printemps fait ensuite retomber le risque jusqu'à l'été où l'assèchement général recrée des conditions propices aux départs de feux puissants. Pour prendre en compte ces caractéristiques régionales, Météo-France a engagé une politique de collaboration étroite avec le Centre Opérationnel de Zone Sud-Ouest (COZ-SO) et plus particulièrement avec les Services Départementaux d'Incendies et de Secours (SDIS) 33 et 40 pour adapter et développer de nouveaux indices qui tiennent compte de la saisonnalité du phénomène.

Le poster présenté explique les principes de la méthodologie canadienne et les indices complémentaires développés pour la région Sud-Ouest.

A noter que, maintenant que la modélisation sur l'apparition du risque est bien aboutie, les SDIS de la région Sud-Ouest commencent à porter leurs efforts sur la prévision du comportement d'un feu en cours. Une étroite collaboration avec Météo-France est donc toujours d'actualité puisque les paramètres météorologiques font partie des éléments primordiaux nécessaires pour alimenter les modèles de propagation de feux.

# Indices de danger Feux de Forêt Sud-Ouest

## Méthodologie canadienne adaptée au massif des Landes de Gascogne

Didier GRIMAL  
didier.grimal@meteo.fr

METEO FRANCE



**Problématique opérationnelle :** Le massif des Landes de Gascogne est particulièrement sensible aux risques de feux du fait de son emprise territoriale et de sa nature en monoculture de pins maritimes (environ 1,5 million d'hectares répartis sur 386 communes).

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Dans le Sud-Ouest il existe deux saisons aux caractéristiques de feux très différentes. Il s'agit ici de caractériser la capacité d'éclosion et le risque de propagation d'un incendie en fonction de la saison, selon les conditions atmosphériques du moment. Les organismes de lutte peuvent ainsi mettre en place de manière préventive une organisation opérationnelle pour le lendemain. Pour cela Météo-France, en collaboration avec la Cellule Opérationnelle de Zone Sud-Ouest (COZ), a adapté des indices issus d'une méthodologie canadienne.

### Résultats

**NEP (Niveau d'Éclosion et de Propagation) :** caractérise un danger de feux rapides, en surface. En hiver et au printemps les sols sont saturés en eau mais les parties aériennes de la végétation sèche fournissent un bon combustible. Danger fort en conditions anticycloniques venteuses.

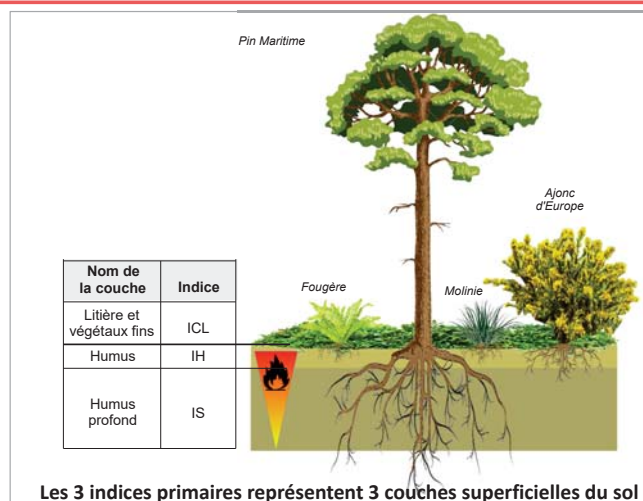
**NEP Vert :** fin du printemps. La végétation est plus verte, plus humide et donc plus difficile à brûler.

**IFM (Indice Forêt Météo) :** caractérise un danger de feux puissants pénétrant dans le sol. En été, les sols sont secs, l'humus prend part à la combustion. Danger fort en cas de longue période sans pluie, avec du vent.

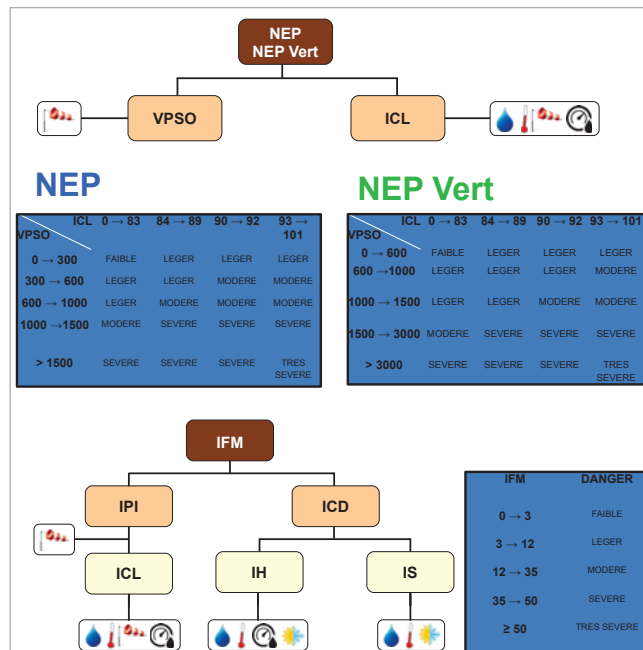
### Applications

Quotidiennement, Météo-France calcule et diffuse les indices prévus sur un site extranet dédié, consultable par le COZ et les SDIS (Services départementaux d'incendie et de secours) de la région Sud-Ouest. Une carte décrit le risque à l'aide d'un code couleur sur une grille de 1 km<sup>2</sup>. Les acteurs départementaux définissent ensuite un risque opérationnel fonction d'éléments contextuels non météorologiques.

Pour en savoir plus : Météo-France - Direction Interrégionale Sud-Ouest - 7 Av. Roland Garros - 33692 MERIGNAC CEDEX



Les 3 indices primaires représentent 3 couches superficielles du sol



Paramètres météo entrant dans le calcul des indices et échelles de risque



## **L'Action Transverse Sismicité RESIF**

Frédéric Masson (1) (frederic.masson@unistra.fr), Marc Grunberg (1), François Schindelé (2), Sophie Lambotte (1), Hélène Hébert (2), Christophe Sira (1), Samuel Auclair (3), Antoine Schlupp (1), Didier Bertil (3), **Stéphane Mazzotti (4)**, Hervé Jomard (5)

(1) EOST CNRS/University Strasbourg

(2) LDG CEA

(3) BRGM

(4) Géosciences Montpellier, CNRS/University Montpellier

(5) IRSN

La majorité des travaux de suivi et de caractérisation de la sismicité française (métropolitaine et aux Antilles) sont effectués par des équipes d'organismes membres du consortium RESIF (Réseau Sismologique et Géodésique Français – Infrastructure de Recherche). Aujourd'hui, ces travaux sont largement basés sur des données issues des moyens d'observation de RESIF. (réseaux sismologiques et géodésiques permanents).

L'objet de l'Action Transverse Sismicité RESIF est de coordonner l'ensemble de ces travaux au sein d'une structure unique dans l'objectif d'augmenter l'efficacité du travail effectué et d'en accroître la visibilité. Il s'agit notamment de réaliser et de distribuer des produits issus des données de RESIF axés sur la connaissance de la sismicité française et de l'aléa associé.

5 axes ont été définis :

1/ la construction d'un bulletin de sismicité multi-origine en France,

2/ la construction d'un catalogue de référence sur la sismicité en France,

3/ la collecte et l'analyse des données macro-sismiques et de sismicité historique,

4/ la mise en œuvre de shakemaps au niveau national intégrant à la fois des données macro-sismiques et des données de réseaux accélérométriques et vélocimétriques,

5/ la création d'un groupe de travail pour l'estimation du potentiel sismogénique des sources sismiques au niveau national.

L'Action Transverse Sismicité RESIF sismicité aura la responsabilité d'assurer la gestion, la sauvegarde et la distribution des données et produits issus des 5 axes précitées. Pour cela, il mettra en place et maintiendra des outils de requête automatisables et un portail web dédié à une large communauté d'utilisateurs ([www.franceseisme.fr](http://www.franceseisme.fr) : le site web de l'Action Transverse Sismicité).

L'objet de la présentation est de présenter les travaux réalisés dans le cadre de cette action.

# L'Action Transverse Sismicité RESIF (ATS)

*Mieux connaître et comprendre la sismicité et l'aléa sismique en France*

Frédéric Masson (1), Marc Grunberg (1), François Schindelé (2), Sophie Lambotte (1), Gilles Mazet-Roux (2), Bruno Hernandez (2), Christophe Sira (1), Samuel Auclair (3), Antoine Schlupp (1), Didier Bertil (3), **Stéphane Mazzotti (4)**, Hervé Jomard (5)  
(frederic.masson@unistra.fr)

(1) EOST CNRS/Université de Strasbourg, (2) LDG CEA, (3) BRGM, (4) Géosciences Montpellier, CNRS/Université de Montpellier, (5) IRSN



## Problématique opérationnelle, question posée :

Coordonner l'ensemble des travaux sur la sismicité et l'aléa sismique en France au sein d'une structure communautaire pour augmenter l'efficacité du travail effectué et en accroître la visibilité ?

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Depuis une dizaine d'années les communautés sismologiques, géodésiques et gravimétriques françaises se sont structurées au sein de RESIF (Réseau sismologique et géodésique français). Après avoir beaucoup travaillé au développement de nouveaux réseaux sismologiques et à la modernisation de la gestion et de la distribution des données, il est apparu nécessaire de développer une action transverse RESIF autour de la sismicité française.

## Résultats

L'ATS est subdivisée en 5 axes portant sur les thèmes suivants :

- la construction d'un bulletin de sismicité multi-origine en France
- la construction d'un catalogue de référence de la sismicité
- la collecte et l'analyse des données macrosismiques - sismicité historique et contemporaine en France
- la mise en œuvre de ShakeMap au niveau national, intégrant à la fois des données macrosismiques et des données sismologiques
- la promotion des études et de la caractérisation de l'aléa sismique au niveau national

## Applications

L'ATS aura la responsabilité d'assurer la gestion, la sauvegarde et la distribution des données et produits issus des 5 axes. Pour cela, elle mettra en place et maintiendra des outils de requête automatisables et un portail web dédié à une large communauté d'utilisateurs ([www.franceseisme.fr](http://www.franceseisme.fr) : le site web de l'Action Transverse Sismicité).

### Pour en savoir plus :

Les partenaires du projet sont le BRGM, le CNRS, le CEA, l'IPGP, l'IFFSTAR, les universités Clermont-Auvergne (OPGC), Montpellier (OREME), Nantes (OSUNA), Strasbourg (EOST), Grenoble-Alpes (OSUG), Toulouse (OMP).



Figure 1 : Carte de la sismicité de 1962 à 2016. Épicentres des séismes naturels en France métropolitaine et dans la zone économique exclusive en mer avec une extension des frontières de 20 km

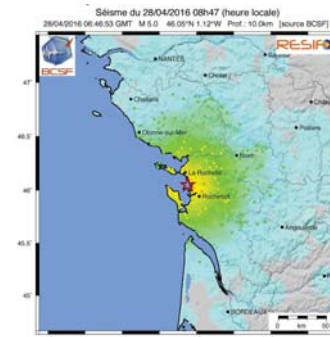


Figure 2 : Shakemap calculé avec le traitement Shakemap version 3.5 de l'USGS (BCSF-RENAISS).

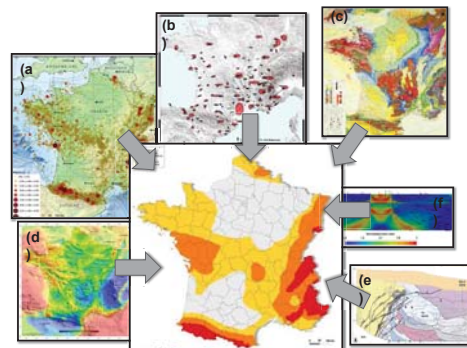


Figure 3 : Intégration des données de sismicité (a), géodésie (b), géologie (c), géophysique (d), paléo-sismologie (e), et des résultats de modélisations numériques (f) afin de contribuer à la construction de futurs modèles d'aléa sismique.

## Mouvements de terrain liés à la dissolution du gypse : Approche méthodologique d'évaluation et de gestion du risque

Amélie LECOMTE<sup>1\*</sup>, Arnaud CHARMOILLE<sup>1</sup>, Charles KREZIAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ineris, Parc technologique Alata, 60550 Verneuil-en-Halatte,

<sup>2</sup> Cerema, 12 rue Teisserenc de Bort - 78190 Trappes-en-Yvelines

\* correspondant : tél. 03.44.55.62.66, fax 03.44.55.67.00, [amelie.lecomte@ineris.fr](mailto:amelie.lecomte@ineris.fr)

### Résumé

Le territoire français est exposé aux risques de « mouvements de terrain » dont certains sont liés à la dissolution des formations évaporitiques et notamment au gypse. Les phénomènes de dissolution se développant dans le sous-sol entraînent une altération des propriétés du massif rocheux. Ces altérations peuvent conduire, à terme, à la formation de cavités souterraines et, in fine, à l'apparition d'effondrements en surface.

En réponse aux questionnements des pouvoirs publics, des collectivités ou des aménageurs, l'Ineris s'est attaché à comprendre le fonctionnement de ce type de mécanismes. Des travaux, en laboratoire, in situ et de modélisation dans les domaines de l'hydrogéologie, de la géotechnique et de l'analyse de risque ont été menés afin d'approfondir la connaissance des mécanismes mis en jeu. A partir de ces travaux, l'Ineris et le Cerema ont proposé une méthodologie d'évaluation de l'aléa mouvements de terrain se basant principalement sur la combinaison de critères géologiques et hydrogéologiques. Elle tient compte des spécificités inhérentes au contexte de dissolution, depuis les processus de création des vides jusqu'à leur potentielle évolution vers un désordre en surface.

Au travers des travaux réalisés et des retours d'expérience disponibles, il ressort que la composition chimique et la vitesse d'écoulement des eaux souterraines jouent un rôle essentiel depuis l'initiation des phénomènes de dissolution au sein des massifs rocheux souterrains jusqu'à la remontée du désordre en surface. Aussi, un point d'attention particulier est porté sur les sollicitations extérieures, anthropiques ou naturelles (infiltrations, pompages, évènement pluviométriques extrêmes), qui peuvent modifier sensiblement les équilibres hydrodynamiques ou chimiques existants au sein des aquifères et par conséquent modifier l'intensité et la cinétique des phénomènes de dissolution et/ou déstabiliser des zones antérieurement dissoutes.

Les différentes évaluations d'aléa mouvements de terrain liés à la dissolution du gypse réalisées ces dernières années par l'Ineris, ont permis d'alimenter la méthodologie développée et de proposer des moyens de prévention et de protection adaptés à ce contexte spécifique. Ces outils méthodologiques peuvent être mis en œuvre, notamment par les collectivités ou les aménageurs, afin d'évaluer, de prévenir et de gérer ce risque en fonction des types d'occupation des sols actuels et des projets d'aménagement futur des territoires.

# La dissolution naturelle du gypse

## Évaluation et gestion du risque mouvements de terrain

Amélie LECOMTE<sup>1</sup> [amelie.lecomte@ineris.fr](mailto:amelie.lecomte@ineris.fr)  
Arnaud CHARMOILLE<sup>1</sup> [arnaud.charmoille@ineris.fr](mailto:arnaud.charmoille@ineris.fr)  
Charles KREZIAK<sup>2</sup> [charles.kreziak@cerema.fr](mailto:charles.kreziak@cerema.fr)

<sup>1</sup> INERIS, Parc technologique Alata  
60550 Verneuil-en-Halatte

<sup>2</sup> Cerema, 12 rue Teisserenc de Bort  
78190 Trappes-en-Yvelines



### Problématique opérationnelle, question posée :

Lorsque du gypse est présent dans le sous-sol, des phénomènes de dissolution peuvent se développer entraînant une altération des propriétés mécaniques du sous-sol. À terme, ces altérations peuvent conduire à la formation de vides susceptibles d'impacter la surface (effondrements ou affaissements).

### Problématiques de recherche - Méthodes - Objectifs

#### Quels phénomènes ?

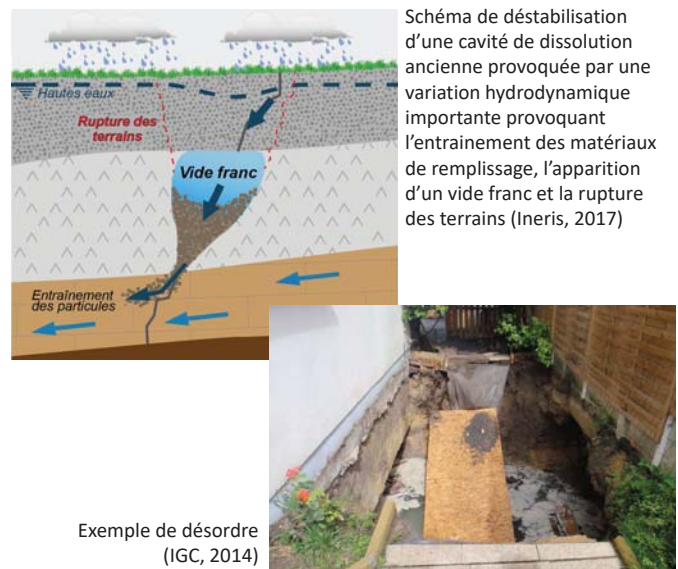
Compréhension des mécanismes hydrauliques, chimiques et mécaniques depuis l'initiation des processus de dissolution jusqu'à l'apparition du désordre en surface → *expérimentations in situ et en laboratoire, modélisations numériques multi-processus*

#### Comment évaluer les risques ?

Adaptation des méthodologies connues tenant compte du rôle de l'eau, des interactions eau/roche et du caractère évolutif des systèmes → *Définition des facteurs principaux et aggravants*

#### Comment gérer les risques ?

Définition des moyens de prévention (→ *gestion des eaux*)  
Adaptation des techniques de protection connues



### Résultats

#### Deux critères principaux d'évaluation :

- Caractéristiques du gisement de gypse (épaisseur, profondeur)
- Potentiels hydrodynamique et hydrochimique des eaux (présence ou non d'une circulation d'eaux agressives vis-à-vis du gypse)

#### Rôle prédominant de l'eau

A toutes les étapes : du mécanisme de dissolution jusqu'à l'initiation du désordre

Sollicitations anthropiques pouvant perturber les équilibres hydrodynamiques ou chimiques (→ *gestion des eaux primordiales*)

### Applications

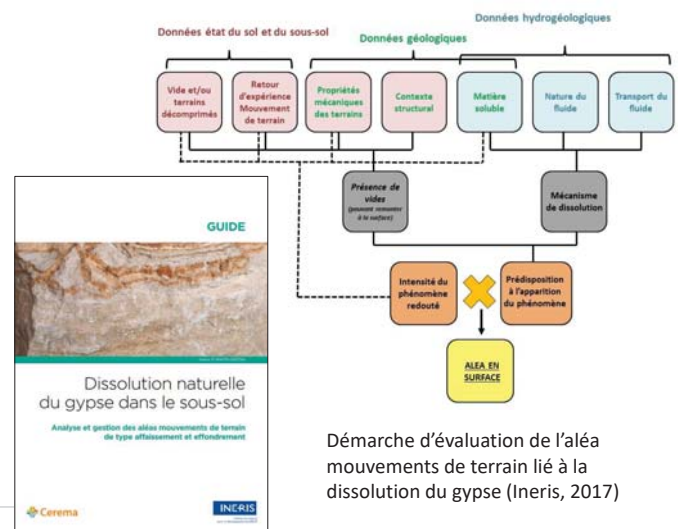
**Évaluation et cartographie de l'aléa** à l'échelle d'un bassin de risque (Sevrans, Tremblay et Villepinte, Champ-sur-Drac...)

#### Proposition de recommandations

Moyens de prévention et de protection adaptés au contexte

Pour en savoir plus : Guide Ineris-Cerema sur le Gypse

[www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Guide\\_Gypse\\_A4\\_V10\\_web.pdf](http://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Guide_Gypse_A4_V10_web.pdf)



Démarche d'évaluation de l'aléa mouvements de terrain lié à la dissolution du gypse (Ineris, 2017)

# La plateforme SAMCO: un outil pour mesurer l'adaptation de la société aux risques en montagne dans un contexte de changement global

Gilles Grandjean, Severine Bernardie,  
*BRGM, DRP, Orleans, France*

[g.grandjean@brgm.fr](mailto:g.grandjean@brgm.fr)

Jean-Philippe Malet, Anne Puissant  
*UNISTRA, Strasbourg, France*

Thomas Houet  
*GEODE, Toulouse, France*

Monique Fort  
*PRODIG, Paris, France*

Franck Bourrier  
*IRSTEA, Grenoble, France*

Loic Thomas  
*GEO-HYD, Orleans, France*

Le projet ANR SAMCO (Society Adaptation for coping with Mountain risks in a global change COntext, 2013-2016, N°ANR-12-SENV-0004-01) a permis de développer une plateforme d'évaluation des risques destinée à améliorer la résilience globale des sociétés devant faire face aux aléas en zones montagneuses : les glissements de terrain, les chutes de blocs, les coulées boueuses.

Les montagnes occupent une place importante dans le système Terre global. Du fait de leur dimension verticale, le climat varie considérablement avec l'altitude. Cette verticalité est aussi à l'origine de la diversité de couvertures des sols, d'habitats et d'espèces sur des distances horizontales restreintes. Les zones de montagne présentent également des profils socio-économiques variés (tourisme, exploitation forestière, utilisation des ressources de l'écosystème) qui ont connu de profondes modifications au cours du siècle dernier avec le développement de nos « sociétés modernes ». Les processus naturels, régis par des déclencheurs hydrométéorologiques (coulées, glissements de terrains, éboulements), viennent s'ajouter aux pressions exercées sur l'environnement, que ce soit sur les systèmes sociaux ou sur les systèmes naturels. Ils renforcent la nécessité de mettre en œuvre à court terme des plans d'adaptation proactifs dont la plateforme SAMCO fournit des éléments déterminants.

La méthodologie proposée vise à évaluer et à cartographier les aléas multiples et les risques associés aux évolutions de climat, à l'occupation des sols et aux enjeux présents à l'échelle régionale (ex. : 1/5 000 à 1/50 000 e), et sur plusieurs périodes : l'actuel et l'avenir proche (2040 et 2100). Des indicateurs de risque permettant de rendre compte de la réponse de ces systèmes aux forçages environnementaux et sociaux sont calculés à partir de modèles physiques (ALICE, ROCKY43D, etc) et de modèles d'impact de type PDI (Potential Dàuage Index). Ainsi, en choisissant parmi plusieurs scénarios d'aléa, de projections climatiques et d'évolutions socio-économiques des vallées étudiées, les cartes produites montrent les évolutions des aléas et du risque sur des échéances variées (2040-2100).

Le projet s'est concentré sur deux domaines d'étude en zone montagneuse, situés dans les Alpes françaises (bassin de Barcelonnette, Queyras) et dans les Pyrénées (Cauterets). Ces zones de recherche, caractérisées par des paramètres environnementaux, économiques et sociaux variés, sont sévèrement affectées par les risques naturels. Sur chacun des sites des ateliers participatifs ont été menés avec les parties prenantes pour élaborer les scénarios socio-économiques affectant l'occupation du sol.



# La plateforme SAMCO : évaluer les impacts du changement global en montagne

Un web-service pour étudier les scénarios de risques gravitaires

Gilles Grandjean<sup>1</sup>, Séverine Bernardie, Loïc Thomas, Jean-Philippe Malet, Anne Puissant, Thomas Houet, Monique Fort, Franck Bourrier  
[g.grandjean@brgm.fr](mailto:g.grandjean@brgm.fr)

BRGM, EOST, LIVE, GEODE, IRSTEA, PRODIG, GEO-HYD



## Problématique opérationnelle, question posée :

Evaluation d'impacts de scénarios climatiques et de développements économiques régionaux sur les risques gravitaires identifiés en montagne.

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Le projet ANR-SAMCO a permis de développer des outils méthodologiques permettant :

- De définir les impacts des changements globaux (climat, évolution socio-économique) sur les aléas gravitaires,
- De projeter ces scénarios sur le court ou le moyen terme,
- D'analyser ces conséquences en termes de vulnérabilité,
- De cartographier des indicateurs de dommage.

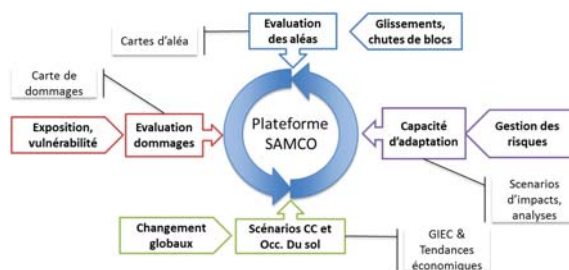


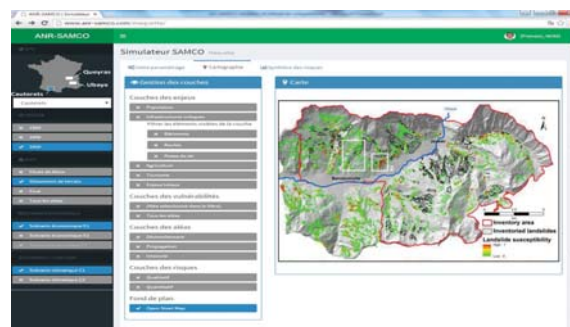
Schéma conceptuel de l'évaluation des risques développée dans le projet ANR-SAMCO

## Résultats

Les scénarios ont été établis sur les vallées de l'Ubaye (04) et de Cauterets (65), pour l'actuel et les échéances 2040 et 2100 :

- 2 scénarios d'émission de gaz à effet de serre,
- Plusieurs scénarios socio-économiques considérant les actions politiques locales et mondiales pouvant modifier la planification de l'utilisation des sols.

Les cartes résultantes montrent l'évolution des aléas et des dommages induits pour ces différents cas.

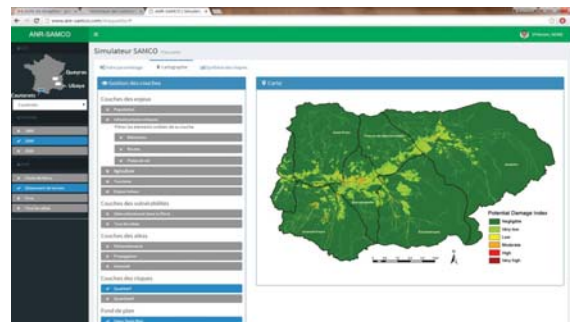


WEB-SAMCO: aléa glissement de terrain

## Applications

Basé sur le code ALICE@BRGM (Baills et al., 2012) et la méthode PDI (Puissant et al., 2013), la plateforme WEB-SAMCO<sup>1</sup> permet à l'utilisateur de choisir entre les divers scénarios étudiés, les aléas considérés afin de restituer les cartes de dommages estimés.

Cet outil, accessible sur le Web, est utile aux parties prenantes pour percevoir l'impact des politiques de développement à moyen terme sur les risques gravitaires présents dans une vallée montagnaise.



WEB-SAMCO: Potentiel de dommage

### Pour en savoir plus :

Baills, A., Vandromme, R., Desramaut, N., Sedan, O., Grandjean, G., 2012. Changing patterns in climate-driven landslide hazard: an alpine test site. The World Landslides Forum, 2011, Rome, Italy.  
Puissant, A., Van Den Eeckhaut, M., Malet, J.-P., Maquaire, O., 2013. Landslide consequence analysis: a region-scale indicator-based methodology. The World Landslides Forum, 2011, Rome, Italy.  
[1http://www.anr-samco.com/](http://www.anr-samco.com/)

# L'analyse de risque des systèmes endigués : une aide à la décision pour les collectivités en charge de la compétence GEMAPI

R. Tourment<sup>1</sup>, B. Beullac<sup>1</sup>, S. Patouillard<sup>2</sup>, Y. Queffélec<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Irstea, Aix en Provence, remy.tourment@irstea.fr

<sup>2</sup> DREAL Centre Val de Loire, Orléans, sebastien.patouillard@developpement-durable.gouv.fr

<sup>3</sup> ONF-DFRN / Dép. RN –Pôle RTM, Gap, yann.queffelec@onf.fr

## Résumé

Les études de dangers de digues ont été introduites par la réglementation de 2007 sur la sécurité des ouvrages hydrauliques ; la réglementation de 2015 a défini les études de dangers des systèmes d'endiguement (arrêté de 2017). Ces études de dangers sont des analyses de risque dans un format particulier, défini par la réglementation. Pour autant, l'adaptation des concepts de l'analyse de risque, qui ont été développés dans le domaine de l'industrie, au domaine des ouvrages hydrauliques n'était pas chose évidente ; pour les barrages, ouvrages "ponctuels", l'adaptation a demandé un travail non négligeable, pour les digues, compte tenu de la complexité des systèmes, il y avait un besoin de développements méthodologiques encore plus important.

Un cadre général de l'analyse du risque inondation des systèmes endigués a été produit au niveau international dans le cadre de la rédaction de l'International Levee Handbook (2010-2013). En parallèle, Irstea a développé, en collaboration avec plusieurs gestionnaires de digues, une méthodologie de réalisation des études de dangers fondée sur l'analyse de risque et une méthode d'analyse des modes de défaillance (structurelle et hydraulique) associée. Cette méthodologie a été mise en œuvre sur plusieurs dizaines de systèmes de protection. Un guide de réalisation de ces études a été rédigé et est en cours d'édition. Il doit être paru à la date des ANRN.

Ces méthodes sont applicables pour :

- La réalisation d'une étude de dangers (EdD) réglementaire,
- Dans le contexte de l'introduction de la compétence GEMAPI, pour le choix du niveau de protection et des limites du système d'endiguement et de la zone protégée
- De manière générale comme support à la décision concernant les systèmes de protection, voire la gestion du milieu eau et de la zone protégée.

## Bibliographie

- Tourment, R., Beullac, B. (coord.). (2019). *Inondations : analyse de risque des systèmes de protection - Application aux études de dangers*, Editions Lavoisier, 2019 (en cours de parution), ISBN : 978-2-7430-2365-2, DOI : <http://dx.doi.org/10.3166/TD-2018-2365-000>
- Félix H., Beullac B., Tourment R., Mériaux P., Peyras L. (2011). *Méthodologie pour l'analyse fonctionnelle des ouvrages hydrauliques à grand linéaire*. CFBR / AFEID, Etudes de dangers, Lyon.
- Tourment R., Beullac B., Deniaud Y., Simm J., Wallis M., Sharp M., Pohl R., Van Hemert H. (2013). *De l'EDD des digues en France aux travaux de l'ILH sur les mécanismes élémentaires et les scénarios de défaillance*. 2nd colloque national – Dignes2013, MEDDTL / CFBR / Irstea, Digues Maritimes et Fluviales de Protection contre les Submersions, Aix en Provence. 288-297.
- Tourment, R., Beullac, B., Degoutte G. (2015). *Etudes de dangers des systèmes de protection contre les inondations : une méthode d'analyse de la défaillance*, La Houille Blanche, n°1, p. 41-55, DOI 10.1051/lhb/2015006.
- Tourment, R., Beullac, B., de Leeuw, A., Diermanse, F., Gouldby, B., Wallis, M. (2016). *L'analyse de risques des systèmes d'endiguement : comparaison de différentes pratiques internationales*. Colloque CFBR : Sûreté des barrages et enjeux, 23-24 novembre 2016, Chambéry.
- Tourment, R., Beullac, B., Patouillard, P., Maurin, J., Queffélec, Y. (2019). *L'analyse de risque des systèmes endigués : méthodologie et application à la réalisation des études de dangers*. Dignes2019, 3ème Colloque sur les digues maritimes et fluviales de protection contre les inondations, 20-21 mars 2019 (article accepté)

# L'analyse de risque des systèmes endigués

une aide à la décision pour les collectivités en charge de la compétence GEMAPI

R. Tourment<sup>1</sup>, B. Beullac<sup>1</sup>,  
S. Patouillard<sup>2</sup>, Y. Queffléan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Irstea, remy.tourment@irstea.fr, bruno.beullac@irstea.fr

<sup>2</sup> DREAL Centre Val de Loire, sebastien.patouillard@developpement-durable.gouv.fr

<sup>3</sup> ONF-DFRN / Dép. RN –Pôle RTM yann.queffleau@onf.fr



## Les études de dangers des systèmes d'endiguement :

La réglementation de 2015 a défini les études de dangers des systèmes d'endiguement (arrêté de 2017). Ce sont des analyses de risque dans un format particulier, défini dans la réglementation.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

L'adaptation des concepts de l'analyse de risque, qui ont été développés dans le domaine de l'industrie, au domaine des ouvrages hydrauliques n'était pas chose évidente ; pour les barrages, ouvrages "ponctuels", l'adaptation a demandé un travail non négligeable ; pour les digues, compte tenu de la complexité des systèmes, il y avait un besoin de développements méthodologiques encore plus important.

### Résultats

Un cadre général de l'analyse du risque inondation des systèmes endigués a été produit au niveau international dans le cadre de la rédaction de l'International Levee Handbook (2010-2013). En parallèle, Irstea a développé, en collaboration avec plusieurs gestionnaires de digues, une méthodologie de réalisation des études de dangers fondée sur l'analyse de risque et une méthode d'analyse des modes de défaillance (structurelle et hydraulique) associée. Cette méthodologie a été mise en œuvre sur plusieurs dizaines de systèmes de protection.

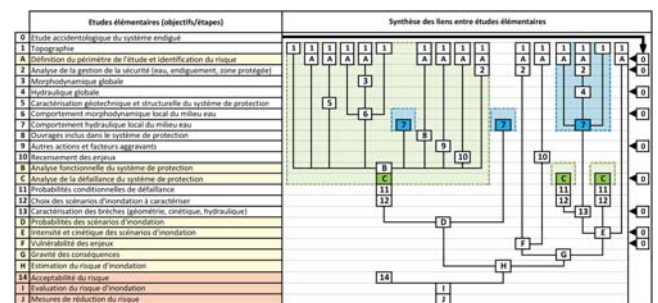
### Applications

Ces méthodes sont applicables pour :

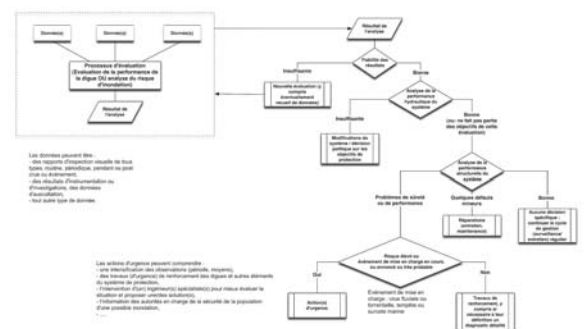
- la réalisation d'une étude de dangers (EdD) réglementaire,
- dans le contexte de l'introduction de la compétence GEMAPI, pour le choix du niveau de protection et des limites du système d'endiguement et de la zone protégée
- de manière générale comme support à la décision concernant les systèmes de protection (gestion courante, confortements, gestion de crise), voire la gestion du milieu eau et de la zone protégée.

#### Pour en savoir plus :

Inondations - Analyse de risque des systèmes de protection - Application aux études de dangers par Rémy Tourment et Bruno Beullac (Editions Lavoisier, collection Tec&Doc, 2019)  
ISBN : 978-2-7430-2365-2



Méthodologie d'analyse de risque des systèmes endigués - Irstea



Utilisation de l'analyse de risque des systèmes endigués pour l'aide à la décision – Rémy Tourment



Les principaux concepts techniques entrant dans la réglementation de la gestion des digues - Irstea

## **Le Programme Intégré Thématique (PITEM) sur les risques naturels : un programme d'action sur la communication et la gestion des risques naturels sur le territoire Alpin ALCOTRA**

N. Marçot<sup>1</sup>, C. Mirgon<sup>1</sup>, M. Amitrano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BRGM Direction Régionale PACA, Marseille

Contact : Marçot Nathalie [n.marcot@brgm.fr](mailto:n.marcot@brgm.fr)

---

Les régions transfrontalières des Alpes occidentales partagent une grande richesse et une grande diversité de milieux naturels, des zones côtières au Mont Blanc. Ce territoire est exposé aux risques naturels et technologiques, ainsi qu'aux effets du changement climatique (phénomènes de retrait des glaciers, déséquilibre hydrogéologique, instabilités gravitaires, érosion du sol, exposition croissante aux incendies, aux inondations, aux phénomènes d'érosion côtière).

Le projet PITEM RISK est né d'une volonté d'unir deux réseaux transfrontaliers sur le territoire Alcotra, ayant une expérience consolidée : le réseau de gestion des risques naturels (Région SUD, Conseil Départemental des Hautes-Alpes, BRGM) et le réseau de gestion des situations d'urgence (Services Départemental d'Incendie et de Secours : SDIS), et les équivalents Italiens.

Le projet a comme objectif d'améliorer cette capacité d'action par-delà les frontières sur le territoire Alcotra, de prévoir des actions de communication, d'éducation vers le grand public et de formation conjointes des acteurs, et de surmonter certaines difficultés opérationnelles qui existent encore. Méthodologies et outils transfrontaliers les plus significatifs seront alors testés sur des zones-pilotes.

Dans ce contexte est apparu la volonté pour le BRGM de relancer la dynamique de l'Observatoire Régional des Risques Majeurs en région SUD Provence Alpes-Côte d'Azur, aux côtés des partenaires co-fondateurs DREAL PACA et REGION SUD. Cet outil va dans le cadre de ce projet connaître une refonte totale technologique (via le site Internet dédié : <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/>) pour la mise à disposition des données à la fois d'information, de réglementation et la visualisation de données cartographiques géo référencées notamment via l'interopérabilité avec les données italiennes. Cet Observatoire va par ailleurs être remis au centre de la dynamique d'observation des risques naturels sur la région en innovant sur des actions de communication, d'échanges avec les Italiens sur la connaissance des risques naturels, et de point focal de toute la diffusion de la connaissance sur les risques majeurs.

Concernant le volet lié à la gestion des risques sur le territoire, les actions vont se concentrer pour le BRGM sur un travail de valorisation des résultats du projet simple Alcotra AD-VITAM dont les objectifs étaient d'étudier les relations entre les pluies et le déclenchement des glissements de terrain, afin de pouvoir appliquer les méthodologies et modélisations scientifiques élaborées dans le projet simple, et ce sur un certain nombre de sites pilotes Alpains. L'objectif étant l'amélioration de la prévention et de la prévision des phénomènes pour accroître la capacité de réaction des services acteurs.

# Le Programme Intégré Thématique (PITEM) sur les risques naturels sur le territoire Alpin ALCOTRA

Un programme d'action sur la communication et la gestion des risques naturels

N. Marçot<sup>1</sup>, C. Mirgon<sup>1</sup>, M. Amitrano<sup>1</sup>  
[n.marçot@brgm.fr](mailto:n.marçot@brgm.fr)

<sup>1</sup>BRGM Direction Régionale PACA



Le projet **PITEM RISK** est né d'une volonté d'unir deux réseaux transfrontaliers français et italiens sur le territoire Alcotra, ayant une expérience consolidée : le réseau de **gestion des risques naturels**, le réseau de **gestion des situations d'urgence**, et les équivalents Italiens.

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Améliorer la **capacité d'action** du réseau d'acteurs franco-italien par-delà les frontières sur le territoire Alcotra, prévoir des actions de **communication**, d'**éducation** vers le grand public et de **formation** conjointes des acteurs, et surmonter certaines difficultés **opérationnelles**. **Méthodologies** et **outils transfrontaliers** significatifs seront testés sur des **zones pilotes**.

## Résultats

Sur le volet **gestion des risques** sur le territoire, les actions vont se concentrer pour le BRGM sur un travail de **valorisation** des résultats du **projet simple Alcotra AD-VITAM\*** dont les objectifs sont d'étudier les **relations entre les pluies** et le déclenchement des **glissements de terrain**, afin de pouvoir appliquer les **méthodologies** et **modélisations scientifiques** élaborées sur un certain nombre de **sites pilotes** Alpins.

**Objectif** : améliorer la **prévention** et la **prévision** des phénomènes pour accroître la capacité de réaction des acteurs.

## Applications

Relance de la dynamique de l'**Observatoire Régional des Risques Majeurs\*** en région SUD PACA, aux côtés des partenaires co-fondateurs BRGM, DREAL PACA et REGION SUD. Cet outil va connaître une **refonte** totale technologique pour la **mise à disposition** des **données** (information, réglementation) et la **visualisation** de données cartographiques géo référencées (**interopérabilité** avec les données italiennes). Cet Observatoire va par ailleurs être remis au centre de la **dynamique d'observation des risques naturels** sur la région en innovant sur des actions de **communication**, d'**échanges** avec les Italiens sur la connaissance des risques naturels, et de point focal de toute la **diffusion de la connaissance** sur les risques majeurs.

Pour en savoir plus :

\*ORRM PACA : <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/>

Projet PITEM Risques (programme Alcotra) - Lancement du projet : <http://interreg-alcotra.eu/fr/actualite/lancement-du-pitem-risk>



- Région SUD Provence Alpes Côte d'Azur
- BRGM
- SDIS Savoie (73)
- Conseil Départemental Hautes-Alpes (05)
- SDIS Alpes de Haute-Provence (04)



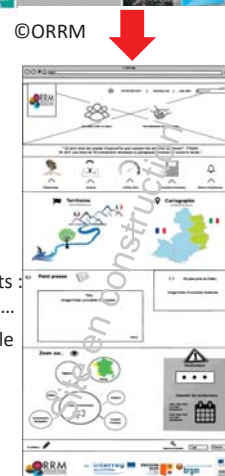
Territoire ALCOTRA et partenariat ©BRGM

- Région Autonome Val d'Aoste
- Région Piémont
- Ville métropolitaine de Turin
- Région Ligurie
- Fondation CIMA

### Projet PITEM Risk-COM :



- Actions de communication
- Refonte de l'Observatoire Régional des Risques Majeurs en région PACA (ORRM)
- Nouveaux partenariats PARN ; CD05 ; SDIS04...
- Interopérabilité avec le Géoportail Italien RiskNet (Région Piémont) : <http://www.risknet-alcotra.org>



©BRGM

**Projet PITEM Risk-GEST :** Méthodes et outils avancés pour la surveillance, l'alerte précoce, la prévention et la gestion intégrée des risques naturels.



Suivi de glissement ©BRGM

**Projet PITEM Risk-ACT :**

- Expérimentations sur sites pilotes ;
- Instrumentations de terrain ;
- Retours d'expériences socio-économiques.



Glissement du Pas de l'Ours (Hautes-Alpes) ©BRGM



## Le projet *Homonim* : Quelles contributions à la prévision des submersions marines ?

Didier JOURDAN<sup>1</sup>, Denis PARADIS<sup>2</sup>, Audrey PASQUET<sup>1</sup>, Sophie CASITAS<sup>1</sup>, Patrick OHL<sup>2</sup>, Rémy BARAILLE<sup>1</sup>, Héroïse MICHAUD<sup>1</sup>, Alice DALPHINET<sup>2</sup>, Lotfi AOUF<sup>2</sup>, Laurie BISCARA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SHOM

SHOM-Toulouse, 42 av. Coriolis, 31057 Toulouse

<sup>2</sup> Météo-France

DirOP/MAR, 42 av. Coriolis, 31057 Toulouse

Correspondant : didier.jourdan@shom.fr

*Homonim* - Historique, Observation, MOdélisation des Niveaux Marins - est un projet commun du Shom et de Météo-France, sous maîtrise d'ouvrage de la Direction Générale pour la Prévention des Risques (DGPR), et de la Direction Générale pour la Sécurité Civile et la Gestion des Risques.

Initié en 2011, il est une réponse concrète à l'action du plan submersions rapides sur *l'amélioration de la connaissance des submersions marines*, et vise également l'amélioration continue des systèmes de prévisions qui alimentent le dispositif de la vigilance vagues-submersion (VVS).

La première phase (2012-2015) a conforté les outils de prévision de la VVS en métropole, en réalisant l'extension du réseau d'observation des niveaux marins et la refonte complète les chaînes opérationnelles de modélisation des surcotes et des vagues en zone côtière.

Dans la continuité, la deuxième phase (2016-2019) suit le quadruple objectif de doter les départements d'outre-mer d'une capacité de prévision similaire à celle de la VVS métropolitaine, tout en faisant progresser l'ensemble des systèmes, d'implémenter une prévision d'ensemble des surcotes, et d'éprouver en opérationnel la prévision très haute résolution couplée niveaux, courants et vagues.

Les acquis du projet *Homonim* se traduisent par des capacités de prévisions des surcotes et des états de mer de résolutions sub-kilométriques, qui s'appuient sur des noyaux de modélisation (Hycom et WW3) adaptés aux contraintes opérationnelles, et qui bénéficient du gros effort d'enrichissement des données de référence entrepris dans le projet (observations, bathymétrie, forçages,...).

Ces modèles fournissent une information fiable de la dangerosité d'une situation météo-océanographique à l'échelle départementale. Cette information permet le déclenchement du niveau de vigilance associé, et répond ainsi au besoin d'anticipation des responsables d'alerte et de gestion de crise, et en particulier des « missions RDI Littoral ».

Ces capacités de prévisions restent cependant insuffisantes pour anticiper les impacts à terre lors d'un épisode de tempête. Les principales limitations résident dans le réalisme des modèles à proximité immédiate de la côte et sur les zones complexes (zones semi-fermées, pertuis, zones sous influences fluviales, ...).

La phase 3, en préparation, vise à combler le maillon opérationnel entre les capacités de grande emprise qui couvrent toutes les façades du territoire national et les outils de prévision de débordement et d'impact à terre. Elle s'articule autour du développement d'une nouvelle génération de modèles dont la physique, les grilles et les schémas numériques permettront d'augmenter la résolution des processus physiques représentés, tout en simplifiant les chaînes opérationnelles. Ces systèmes permettront la généralisation de la prévision couplée très haute résolution, et un interfaçage efficace des systèmes de prévision et d'aide à la décision plus locaux.

# Le projet HOMONIM

## Quelles contributions à la prévision des submersions marines ?

D. JOURDAN<sup>(1)</sup>, D. PARADIS<sup>(2)</sup>, A. PASQUET<sup>(1)</sup>,  
S. CASITAS<sup>(1)</sup>, P. OHL<sup>(2)</sup>, R. BARAILLE<sup>(1)</sup>, H. MICHAUD<sup>(1)</sup>,  
A. DALPHINET<sup>(2)</sup>, L. AOUF<sup>(2)</sup>, L. BISCARA<sup>(1)</sup>

Correspondant : didier.jourdan@shom.fr

<sup>(1)</sup> SHOM-Toulouse,  
42 av. Coriolis, 31057 Toulouse  
<sup>(2)</sup> Météo-France, DirOP/MAR,  
42 av. Coriolis, 31057 Toulouse



### Problématique opérationnelle, question posée :

Mettre en place une capacité opérationnelle de prévision des conditions météo-océaniques pour mieux anticiper et gérer le risque de submersions marines

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

- Un projet **incrémental** initié en 2011.
- Développer une **capacité de prévision multi-échelle** des surcotes et des vagues jusqu'à la côte, à l'état de l'art, et compatible avec les contraintes opérationnelles.
- **Couvrir le littoral national** (métropole et outre-mer) avec des prévisions numériques adaptées à :
  - ✓ la mise en œuvre opérationnelle du dispositif de vigilance,
  - ✓ la mise en place des prévisions infra-départementales,
  - ✓ la préparation à la modélisation XTHR<sup>(\*)</sup> des processus littoraux.

### Résultats

- Une **extension des moyens d'observation** (6 marégraphes).
- Une capacité opérationnelle de **prévision sub-kilométrique** des vagues et des surcotes :
  - ✓ cohérente sur l'ensemble des territoires couverts,
  - ✓ cohérente du large à la côte, en adéquation avec les modèles météorologiques et les modèles hauturiers grande échelle.
- Une capacité opérationnelle de **prévision d'ensemble des surcotes** pour appréhender l'incertitude sur la situation météo-océanique.
- Une capacité opérationnelle de **prévision couplée vagues-niveaux XTHR<sup>(\*)</sup>** sur une zone test (pertuis charentais).
- Des **modèles et schémas numériques innovants** pour répondre aux contraintes opérationnelles et aux exigences de précision.

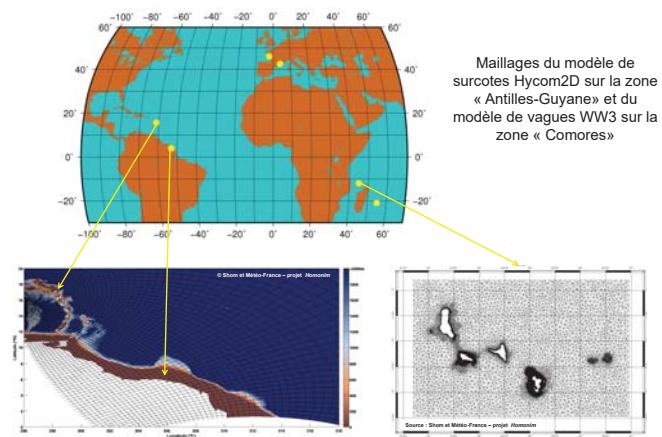
### Applications

- Mise en œuvre du dispositif **Vigilance Vagues-Submersion**.
- **Aide à la décision** des Référents Départementaux Inondation sur les zones littorales (mission RDI-L).
- **Alimentation** des outils d'aide à la décision, des modèles de prévision locaux ou de débordement.

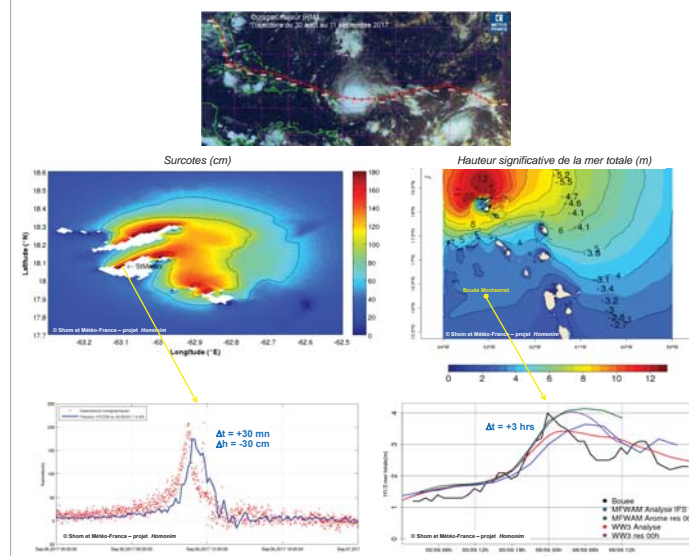
Pour en savoir plus :

THR : Très Haute Résolution (~10 m) / XTHR : eXtra Haute Résolution (~1 m)

Le projet HOMONIM (Historique Observation MODélisation du Niveau Marin) est mené par Météo-France et le SHOM, sous maîtrise d'ouvrage de la DGPR et de la DGSCG.



### Cas du cyclone IRMA



En haut : trajectoire du cyclone.

Au milieu : prévisions des surcotes (+12h) et des hauteurs significatives de vagues (+36h) pour le 06/09/2017 à 11h00 et 13h00 UTC (resp.)

En bas : comparaison aux observations du marégraphe de St Martin (à gauche) et de la bouée Montserrat (à droite)

## Les spécificités de la gestion du risque lié à la dissolution du gypse en région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur

N. Marçot<sup>1</sup>, A. Portal<sup>2</sup>, E. Thiébaud<sup>3</sup>

<sup>1</sup> BRGM Direction Régionale PACA, Marseille

<sup>2</sup> BRGM Direction Risques Prévention, Orléans

<sup>3</sup> Cerema Méditerranée, Aix-en-Provence

Contact : Marçot Nathalie [n.marcot@brgm.fr](mailto:n.marcot@brgm.fr)

---

La région SUD Provence-Alpes-Côte-d'Azur, et plus spécifiquement la partie Sud de la région (Alpes-Maritimes et Var), est fortement concernée par le risque lié à la dissolution du gypse (création de vides souterrains pouvant mener à l'apparition d'effondrements en surface). La gestion de ce risque présente des spécificités en raison de la complexité du contexte géologique de la région (zones de chevauchement). En effet, les informations concernant la localisation et la géométrie du gypse sont, le plus généralement, difficilement accessibles.

Le poster a pour but de dresser un aperçu général des actions engagées par l'État et les collectivités, et faisant intervenir les deux organismes techniques BRGM et Cerema, pour la gestion de ce risque en région SUD Provence-Alpes-Côte-d'Azur.

Afin de définir la typologie des phénomènes, plusieurs exemples d'effondrements sont présentés succinctement.

Les actions menées aussi bien à l'échelle *régionale (cartographie de l'aléa à l'échelle régionale, guide à destination des élus\*)* que communales (*cartographie communale de l'aléa, préconisations pour la réalisation d'études détaillées, expertises menées suite à l'apparition d'effondrement, mise en œuvre de démarches de gestion avec la mobilisation du Fons Barnier*) sont décrites en mettant en avant leurs articulations et complémentarités.

Des focus plus techniques permettent d'illustrer de façon plus concrète cette démarche globale :

- méthodologie de cartographie communale de l'aléa effondrement lié à la présence de gypse (exemple de la commune du Luc-en-Provence, 83) et préconisations émises pour la réalisation d'études détaillées dans des secteurs identifiés avec un aléa non nul ;
- expertises menées suite à l'apparition d'effondrements (exemples des effondrements du Pradet et du Luc-en-Provence, 83), avec notamment un focus sur les résultats d'imagerie géophysique (microgravimétrie, tomographie électrique...) montrant un apport significatif à la compréhension d'un contexte géologique complexe et à la caractérisation (localisation et géométrie) des aléas gypse et cavité(s) associée(s) ;
- mobilisation du fonds Barnier pour la mise en œuvre des démarches de gestion : études, délimitation périmètre de danger, définition des travaux de confortement.

\* Guide « Gestion et prévention du risque mouvements de terrain lié à la présence de gypse en PACA à l'usage des maires » (édité en 2016 dans le cadre de l'Observatoire Régional des Risques Majeurs en région PACA : ORRM : <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/>)



# Les spécificités de la gestion du risque lié à la dissolution du gypse

en région Sud Provence-Alpes-Côte-d'Azur (PACA)

N. Marçot<sup>1</sup>, A. Portal<sup>2</sup> et E. Thiébaud<sup>3</sup>  
n.marcot@brgm.fr

<sup>1</sup>BRGM Direction Régionale PACA  
<sup>2</sup>BRGM, Direction Risques et Prévention - Orléans  
<sup>3</sup>Cerema Méditerranée, Laboratoire Régional d'Aix-en-Provence



La partie Sud de la région PACA (Alpes-Maritimes et Var) est fortement concernée par le risque lié à la **dissolution du gypse** (création de **vides souterrains** pouvant mener à l'apparition d'**effondrements** en surface). Sa **gestion** présente des **spécificités** liées à la complexité du **contexte géologique local**.

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Le **gypse** présent dans le sous-sol de la région PACA est contenu principalement dans les **formations triasiques**, intensément **déformées** par l'histoire tectonique de la région. Ainsi, la localisation et la **géométrie des formations gypseuses**, pouvant être à l'origine de désordres en surface, restent mal connues. Les actions menées depuis plusieurs années par le **BRGM** et le **Cerema** permettent d'**améliorer cette connaissance** et, en conséquence, la **gestion du risque effondrement** associé.



Effondrement du 23 janvier 2005 à Roquevaire (Bouches-du-Rhône - 13)



Effondrement du 8 octobre 2014 au Luc-en-Provence (Var - 83)

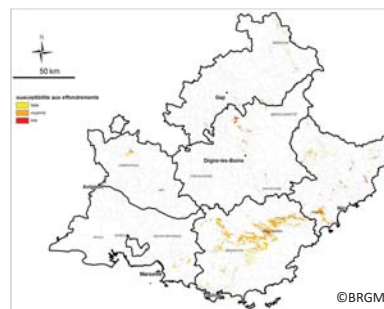
## Résultats

### Echelle régionale :

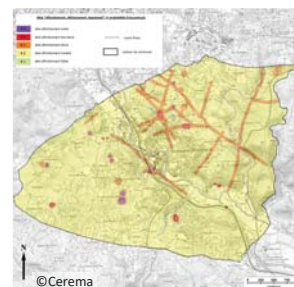
- **cartographie régionale** de l'aléa effondrement ;
- **guide** à destination des élus\* ;

### Echelle locale :

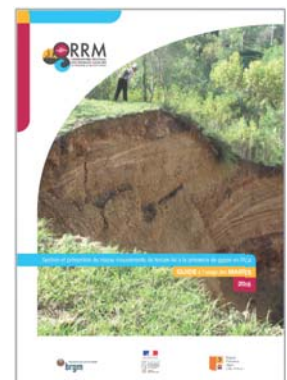
- **cartographie communale** de l'aléa effondrement ;
- **préconisations** pour la réalisation d'**études détaillées** dans des secteurs avec un aléa effondrement non nul ;
- **expertises** menées suite à l'apparition d'effondrements ;
- caractérisation des sites à géologie complexe par **imagerie géophysique** (*microgravimétrie, tomographie électrique, ...*) ;
- mobilisation du **fonds Barnier** pour la mise en œuvre des démarches de gestion : études, délimitation périmètre de danger, définition des travaux de confortement.



Susceptibilité aux effondrements liés aux cavités formées par dissolution de gypse sur la région Sud PACA



Cartographie communale de l'aléa Trans-en-Provence (Var - 83)



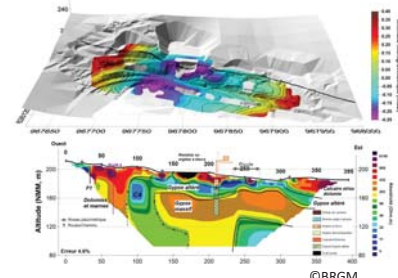
Guide gypse à l'usage des élus\*

## Applications

Les actions menées par le BRGM et le Cerema pour le compte des **collectivités** et des **services de l'Etat** permettent de disposer de **connaissances sur le risque** lié à la dissolution du gypse et d'**outils d'accompagnement** des acteurs du territoire pour la gestion de ce risque bien spécifique.

### Pour en savoir plus :

\*Guide « *Gestion et prévention du risque mouvements de terrain lié à la présence de gypse en PACA à l'usage des maires* » - édité en 2016 dans le cadre de l'Observatoire Régional des Risques Majeurs en région PACA - ORRM : <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/>



Imagerie géophysique sur le site de St Honorat - Le Luc-en-Provence (Var - 83)

# Les Territoires Alpains de Gestion Intégrée des Risques Naturels (TAGIRN)

## Boîte à outils pour la résilience et l'adaptation au changement climatique

Benjamin Einhorn<sup>1</sup>, Frédéric Berger<sup>2</sup>, Jessica Jarjaye<sup>3</sup>, Amandine Crévolin<sup>4</sup>, Olivier Cartier-Moulin<sup>1</sup>, Carine Peisser<sup>1</sup>  
[benjamin.einhorn@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:benjamin.einhorn@univ-grenoble-alpes.fr), [frederic.berger@irstea.fr](mailto:frederic.berger@irstea.fr)

<sup>1</sup> Pôle Alpin d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels (PARN)\*, <sup>2</sup> Irstea Grenoble - UR LESSEM\*\*, <sup>3</sup> Parc Naturel Régional des Baronnies Provençales\*, <sup>4</sup> Pôle d'équilibre territorial rural du Briançonnais Ecrins Guillestrois Queyras (PETR BEGQ)

\*Observateurs et \*\*partenaire du projet GreenRisk4ALPS : « Développement de concepts de gouvernance des risques naturels basés sur les services écosystémiques et la prise en compte des impacts climatiques : de l'analyse du risque aux solutions écosystémiques »  
[www.alpine-space.eu/projects/greenrisk4alps/](http://www.alpine-space.eu/projects/greenrisk4alps/)

### Résumé

Les territoires alpins sont soumis à des risques naturels multiples et spécifiques, aujourd'hui accrus dans le contexte du changement global du climat, de l'environnement et des sociétés, sous l'effet de l'augmentation de l'intensité ou de la fréquence de certains phénomènes et de l'accroissement des vulnérabilités. Face à la récurrence de nombreux événements dommageables, acteurs des territoires et pouvoirs publics font part de leurs préoccupations croissantes et besoins spécifiques en termes d'outils et de modes de gouvernance mieux adaptés au contexte alpin. Dans cette perspective, le développement d'une véritable gestion intégrée des risques naturels en montagne nécessite de construire une approche systémique allant de l'analyse des aléas et des enjeux vulnérables jusqu'à la prise de décision, en passant par la caractérisation (techniques et financières) des services rendus par les écosystèmes (*Nature Based solutions*), dont le rôle est primordial pour limiter les risques naturels dans la région alpine. Différents projets territoriaux et scientifiques cofinancés par des fonds européens et Etat-Région sont consacrés à ces objectifs.

Depuis 2009, le PARN accompagne les collectivités du massif alpin pour mieux gérer les risques et s'adapter au changement climatique, en co-construisant des stratégies locales de *Gestion Intégrée des Risques Naturels* (GIRN) déclinées en programmes pluriannuels d'actions couvrant l'ensemble des étapes de la gestion des risques à l'échelle d'un territoire. Pour appuyer ces démarches locales, le réseau d'interface *Science-Décision-Action pour la prévention des risques naturels* (SDA) rapproche les communautés d'acteurs dans le but d'initier des projets de recherche-action associant scientifiques et acteurs locaux pour développer des outils adaptés. Ces actions innovantes ont permis la mise au point et le partage d'expériences, de bonnes pratiques et de nouveaux outils opérationnels d'évaluation et d'aide à la décision pour la GIRN (ex. : systèmes d'instrumentation, méthodologies de diagnostic de la vulnérabilité, dialogue territorial sur les risques, campagnes d'information préventive, outils de vigilance, d'alerte en masse et de gestion de crise à l'échelle intercommunale, etc.).

L'expérience française des TAGIRN se prolonge aujourd'hui dans le cadre de la Stratégie de l'UE pour la Région Alpine (SUERA) à travers le projet GreenRisk4ALPS, en vue de mieux intégrer les services écosystémiques tels que ceux rendus par les forêts à fonction de protection pare-risques gravitaires. GreenRisk4ALPS vise à améliorer la gouvernance des risques naturels en développant 1) une véritable stratégie participative incluant la société civile et 2) une gestion intégrée des risques construite sur la reconnaissance, la prise en compte et la valorisation des services écosystémiques dans le processus de prise de décisions. Les deux innovations majeures du projet sont la mise en œuvre d'un modèle de recherche-action suivant le principe RIU (*Research, Integration, Utilization*) et la prise en compte (caractérisation, quantification, durabilité, identification et proposition de solutions pour résoudre des conflits d'usages, recherche de compromis) des services écosystémiques dans la politique de prévention et de gestion des risques naturels.

# Les Territoires Alpains de Gestion Intégrée des Risques Naturels (TAGIRN)

*Boîte à outils pour la résilience et l'adaptation au changement climatique*

Benjamin Einhorn<sup>1</sup>, Frédéric Berger<sup>2</sup>, Jessica Jarjaye<sup>3</sup>, Amandine Crévolin<sup>4</sup>, Olivier Cartier-Moulin<sup>1</sup>, Carine Peisser<sup>1</sup>  
benjamin.einhorn@univ-grenoble-alpes.fr  
frederic.berger@irstea.fr

<sup>1</sup> Pôle Alpin Risques Naturels (PARN)  
<sup>2</sup> Irstea Grenoble - UR LESSEM  
<sup>3</sup> Parc Naturel Régional des Baronnies Provençales (PNRBP)  
<sup>4</sup> Pôle d'équilibre territorial rural du Briançonnais Ecrins Guillestrois Queyras (PETR BEGQ)



## Problématique opérationnelle, question posée :

Pour mieux gérer les risques naturels en montagne et s'adapter au changement climatique, les TAGIRN coconstruisent une **gouvernance locale** et **des outils innovants adaptés au contexte alpin**, intégrant notamment des solutions fondées sur la nature, à l'aide de projets de recherche-action.

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

- Mettre en œuvre des stratégies locales multirisques de *Gestion Intégrée des Risques Naturels* (GIRN) coconstruites par les acteurs locaux pour réduire les vulnérabilités du territoire.
- S'appuyer sur un panel de solutions innovantes intégrant les services écosystémiques dans la gouvernance des risques.
- Développer des connaissances, des méthodes et des outils adaptés au contexte alpin via la recherche-action.
- Partager les bonnes pratiques à l'échelle de l'espace alpin.

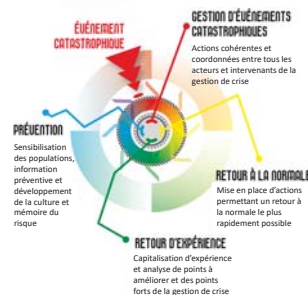
## Résultats

- Constitution d'un **réseau de TAGIRN** ; partage d'expériences et de **bonnes pratiques** : méthodologies de diagnostic de la vulnérabilité, dialogue territorial sur les risques, campagnes d'information préventive, outils de vigilance, d'alerte en masse et de gestion de crise à l'échelle intercommunale, etc.
- Mise au point de **nouveaux outils d'évaluation et d'aide à la décision** pour la GIRN : projets *Science-Décision-Action* (SDA).

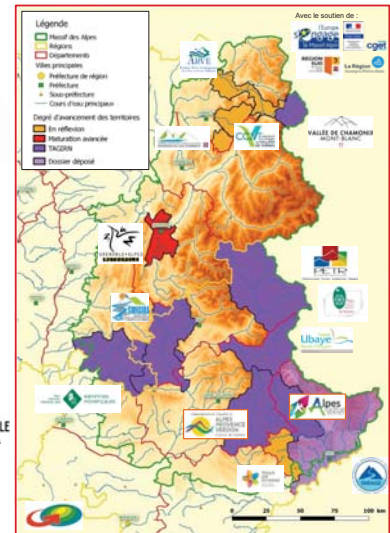
## Applications - Exemples sur le TAGIRN du PNRBP

- Mise en sécurité du massif vis-à-vis du risque de feu de forêt : état des lieux, concertation avec les communes, élaboration et outils d'évaluation de projets DFCL, réunions publiques, visites sur site, diffusion d'un support de sensibilisation auprès des habitants et formation des intervenants éducatifs.
- Projets SDA : diagnostic prospectif de la vulnérabilité du PNR au feu de forêt en contexte de changement climatique, cartographie des forêts à fonction de protection vis-à-vis des chutes de blocs et de leur sensibilité aux incendies et outils d'aide à la planification territoriale pour limiter ces risques.

Pour en savoir plus : <http://risknat.org/girn/>



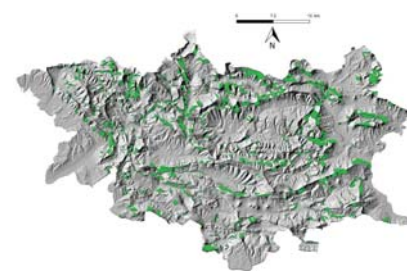
Eventail d'actions concourant à la GIRN (@PETR BEGQ)



Le réseau des TAGIRN (@PARN)



Les Baronnies provençales (@PNRBP)



Zonage des forêts à fonction de protection pare-pierre dans le PNRBP (@Irstea) - Projet VERTICAL

L'expérience acquise dans les Alpes françaises en matière de GIRN est valorisée et poursuivie dans le cadre du projet transnational **GreenRisk4Alps** pour contribuer à enrichir la boîte à outils de la GIRN.



Ces travaux contribuent aux objectifs du Groupe d'Action 8 de la **Stratégie macrorégionale de l'UE pour la Région Alpine (SUERA)** : « Améliorer la gestion des risques et mieux gérer le changement climatique, notamment par la prévention des risques naturels de grande ampleur »



**Assises Nationales des Risques Naturel  
Montpellier, 25 et 26 mars 2019**

**Proposition d'un poster**

**Titre : "Nouveaux outils et nouvelles approches du risque d'incendie de forêt dans les interfaces forêt-urbains"**

**Auteurs:** Adeline Bellet, Christophe Bouillon, Anne Ganteaume, Fabien Guerra, Marielle Jappiot, Eric Maillé, Denis Morge, Irstea Aix en Provence, Unité de Recherche RECOVER/EMR

**Résumé :**

Face à l'émergence, liée au changement climatique, de feux de forêt d'ampleur nouvelle dans tout le Sud de l'Europe, du Portugal jusqu'à la Grèce, et à l'extension de ce risque à des zones jusque là épargnées, telles l'Europe septentrionale et les zones de montagne, la gestion du risque d'incendie de forêt doit de s'appuyer sur des modèles globaux d'évaluation du risque fondés sur l'analyse de l'aléa et des vulnérabilités territoriales. Les interfaces forêt-urbain constituent l'objet privilégié de cette évaluation globale, car elles constituent des zones d'interaction entre des facteurs d'aléas et de vulnérabilité d'enjeux anthropiques sur-déterminants. La mise en œuvre de nouveaux outils de description et de qualification des interfaces vis-à-vis du risque incendie sont actuellement en plein développement. Celles-ci combinent l'exploitation de l'offre nouvelle de données issues de la télédétection satellitaire actuellement disponible (Sentinel, Pléiade, etc.) et les nouveaux outils de télé-acquisition d'informations tant sur le combustible végétal que sur la composante anthropique des interfaces, telle que le LIDAR terrestre et aérien, le couplage des informations spectroscopiques et stéréoscopiques dont l'acquisition par drone permet l'obtention de très hautes résolutions, une meilleure pertinence du choix des capteurs, ainsi que des dates et des fréquences de passages (avant et après feu) mieux adaptées.

Ces nouvelles données sont appelées à venir alimenter chacun des modèles représentant les différents compartiments du risque développés notamment par les chercheurs l'équipe Emax de l'UR RECOVER, à Irstea Aix-en-Provence : modèles de cartographie standardisée des interfaces (WUI/RUI Map), modèle d'éclosion fondé sur l'étude statistique des causes, modèles de propagation en interface fondés sur l'étude expérimentale de la combustibilité de la végétation ornementale et spontanée, modèle multicritères à dire d'experts et expérimentaux de la vulnérabilité des enjeux anthropiques des interfaces, etc.

# L'évaluation du risque d'incendie de forêt dans les interfaces urbain-forêt

## Nouveaux outils et nouvelles approches

Adeline Bellet, Renaud Barbero, Christophe Bouillon, Roland Estève, Anne Ganteaume, Fabien Guerra, Marielle Jappiot, Eric Maillé, Denis Morge, Christian Travaglini  
[marielle.jappiot@irstea.fr](mailto:marielle.jappiot@irstea.fr)

Irstea, UR RECOVER/EMR, Aix en Provence

Pôle Théia Montpellier, Centre d'Expertise Scientifique (CES) "Incendies de Forêt"

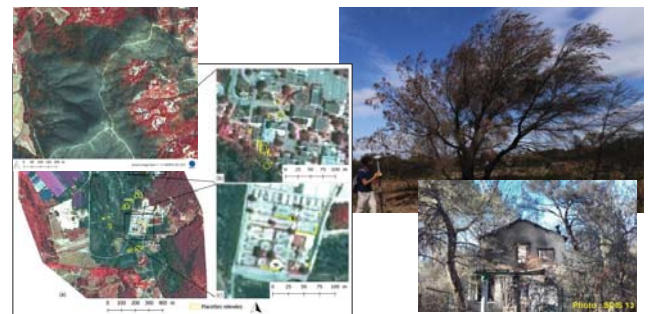


### Problématique opérationnelle, question posée :

L'évaluation spatialisée du risque d'incendie requiert la cartographie précise de variables relatives à la végétation, aux enjeux et aux dommages après incendie. De nouveaux vecteurs et capteurs apportent des solutions.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Dans le contexte du changement climatique, la modélisation du risque d'incendie de forêt pour l'aide à la gestion forestière et territoriale préventive s'appuie sur l'acquisition en quasi temps réel de données géographiques par télédétection. L'exploitation de nouveaux capteurs (très haute résolution spatiale, multispectral, Lidar...) portés par des vecteurs satellites et aériens, y compris les drones, autorise le développement de chaînes de traitement pour alimenter les modèles d'aide à la gestion dynamique du risque.

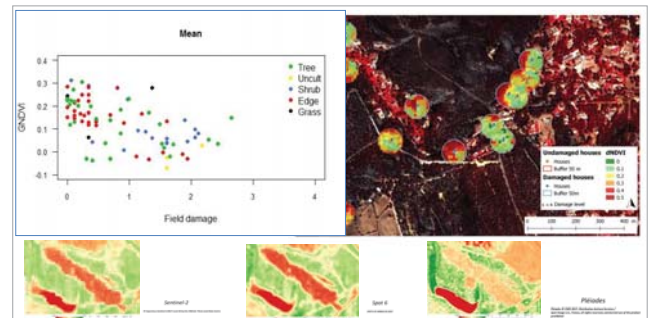


Descente d'échelle permise par les capteurs à très haute résolution spatiale pour la cartographie du risque aux interfaces

### Résultats

- **Cartographie des dommages après incendie et évaluation de la sévérité du feu *a posteriori***, par l'utilisation conjuguée des capteurs satellites à très haute résolution spatiale Pléiade et à haute fréquence de retour Sentinel.

- **Description du combustible** par photogrammétrie stéréoscopique et analyse multispectrale d'images acquises par **drones**, pour alimenter les modèles physiques de feu et les modèles de cartographie des interfaces (WUI-Map), de vulnérabilité (Vulnefeux) et de risque.



Cartographie *a posteriori* de la sévérité du feu en interface par calcul d'indices multispectraux différentiels (ici dNDVI ou GNDVI sur Sentinel-2). Comparaison de résultats obtenus avec différentes résolutions de capteurs

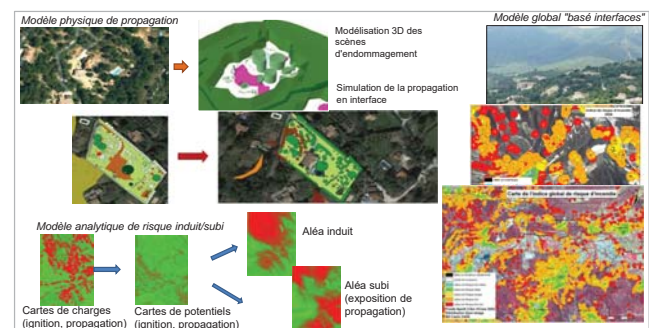
### Applications

- Dans le cadre du Centre d'Expertise Scientifique "Feux de forêt" du pôle Théia, développement d'une chaîne de traitement pour l'évaluation précoce de la sévérité et des dommages après feu, pour l'aide à la réhabilitation des territoires impactés.

- Vers une base de données des feux passés incluant les cartes d'intensité et des dommages évalués après feu pour la gestion du risque de feux récurrents sur le territoire.

### Pour en savoir plus :

- Jappiot M., 2018, Séminaire Théia - 17 et 18 octobre 2018 - Agropolis international Montpellier.
- Jappiot M., 2017, Atelier rencontres CES / ART, juin 2017, IAM, Montpellier.



Différentes approches de la modélisation du risque incendie alimentées par les données produites par télédétection

## **Levé photogrammétrique « post-tempête » par autogire - analyse des impacts et paramètres de vulnérabilité du trait de côte.**

E. Palvadeau<sup>1</sup>, G. Bossennec<sup>2</sup>, V. Sibert<sup>2</sup>, Y. Balouin<sup>1</sup> et P. Lanzellotti<sup>3</sup>

L'Observatoire de la côte sableuse catalane – ObsCat, met en œuvre des suivis saisonniers : topobathymétrie, position du trait de côte, altimétrie et végétation des cordons dunaires. Ces données permettent de dresser chaque année un bilan de l'évolution morpho-sédimentaire de 12 sites sensibles et de 3 embouchures de fleuves répartis sur 5 communes de la cellule hydro-sédimentaire « Côte sableuse catalane » (Cap Leucate – Le Racou). Les maitres d'ouvrages de l'Obscat, Perpignan Méditerranée Métropole et la commune de Leucate, ont souhaité disposer d'un outil complémentaire permettant d'apporter un constat rapide et précis sur les impacts générés par les fortes tempêtes hivernales et identifier sites par sites les principaux facteurs de vulnérabilité du littoral.

L'Obscat utilisant déjà la photogrammétrie en routine pour certains suivis, l'idée de son utilisation pour répondre à ce besoin est donc venue naturellement. Aussi, le Brgm, principal opérateur technique de l'Obscat, appuyé par la société ECOCEANODRONE, a diligenté à la suite de la forte tempête du 28 février au 2 mars 2018, un premier levé test photogrammétrique « post-tempête ». Le survol a été réalisé le 6 mars 2018 par un autogire équipé d'un appareil photographique Canon 6D (24 mm f2.8), pour couvrir les 25 km de côte suivis actuellement par l'ObsCat (du Cap Leucate au grau de l'étang de Canet-St-Nazaire). Une couverture orthophotographique et un modèle numérique de surface à la résolution de 6,5 cm/pixel ont été restitués à partir des quelques 7 200 clichés pris lors du vol.

Les types d'impact suivants ont été relevés sur les orthophotographies produites : franchissements/recouvrements dunaires, percées dunaires, laisses de mer, secteurs submergés et dégâts urbains. Les paramètres morphologiques, run-up (tiré de la pente de la plage) et altitude de la crête dunaire ont été calculés à partir du modèle numérique de surface. Les relations impacts / paramètres morphologiques ont ensuite été étudiés.

Au final, ce premier test a permis :

- Un aperçu exhaustif des zones impactées ;
- Une mise à jour de l'état des zones de faiblesses connues et une détection de nouvelles zones vulnérables.

Cette méthodologie permet une intervention rapide, à moindre coût, après une tempête et de couvrir en un temps très court un linéaire de côte important avec une restitution précise des informations recherchées. Ce survol constitue un premier test concluant pour affiner le protocole d'acquisition et de traitement des données afin de pouvoir en routine déployer ce type d'opération dans les années prochaines.

-----  
<sup>1</sup>Brgm Occitanie – 1039 rue de Pinville 34 000 Montpellier ; <sup>2</sup>société ECOCEANODRONE ; <sup>3</sup>AURCA (Agence d'urbanisme catalane)

# Levé photogrammétrique « post-tempête » par autogire

## Analyse des impacts et paramètres de vulnérabilité du trait de côte

E. Palvadeau<sup>1</sup>, G. Bossennec<sup>2</sup>, V. Sibert<sup>2</sup>, Y. Balouin<sup>1</sup> et P. Lanzellotti<sup>3</sup>  
 e.palvadeau@brgm.fr  
 provence.lanzellotti@aurca.org  
 ecoceanodrone@gmail.com

<sup>1</sup> BRGM Occitanie  
<sup>2</sup> Société ECOCEANODRONE  
<sup>3</sup> AURCA – Agence d'urbanisme catalane



**Besoin :** Perpignan Méditerranée Métropole, la commune de Leucate et le Brgm, maîtres d'ouvrage de l'ObsCat – Observatoire de la côte sableuse catalane, souhaitent disposer d'un outil diagnostic rapide et précis des impacts des tempêtes majeures et/ou sur l'état des côtes en sortie d'hiver.

### Méthodes - objectifs

La méthodologie doit répondre à une contrainte de rapidité de mise en œuvre et de restitution, d'homogénéité des données et de précision, et de faible coût. Utilisée en routine pour les suivis de l'ObsCat (altimétrie cordons dunaires, morphologie embouchures des fleuves) la photogrammétrie par autogire satisfait à ces besoins. Le Brgm associé à Ecocéanodrone a pu réaliser un test entre Leucate-Plage (11) et Canet-en-Roussillon (66), le 6/03/18 suite à une tempête majeure (28/02 – 02/03/18).

### Résultats

Une couverture orthophotographique et un Modèle Numérique de Surface à la résolution de 6,5 cm/pixel ont été restitués à partir des 7200 clichés réalisés. Une cartographie homogène et précise des impacts de cette tempête a pu être produite (franchissements/recouvrements dunaires, percées dunaires, laisses de mer, secteurs submergés, dégâts urbains).

Le *run-up* et l'altitude de la crête dunaire, calculés sur le MNS, permettent d'analyser les relations impacts/paramètres morphologiques et d'identifier les zones les plus vulnérables.

### Applications

Cette méthodologie sera en opération dès mars 2019 pour obtenir un aperçu exhaustif de l'état morphologique des côtes de la totalité de l'unité sédimentaire entre Leucate-Plage et le Racou à la sortie de l'hiver 2018/2019.

Réalisé chaque année, il permettra également d'obtenir des informations quantitatives annuelles, sur les déplacements sédimentaires et la position du trait de côte sur les secteurs non couverts par l'ObsCat.

Pour en savoir plus :

<http://Obscat.fr> – section « Rapports » :

Rapport technique OBSCAT année 5 - 2017-2018

Rapport BRGM/RP-68515-FR



Résolution	6,5 cm/pixel
Erreur associée	X : 1,7 cm ; Y : 1,4 cm en Y et Z : 1,6 cm / Pts de contrôle
Altitude du vol	250 m
Temps de vol	27 km en 2h30
Points de calage	110
Nombre de clichés	7200



Plate-forme de vol et caractéristiques du levé du 6 mars 2018



Types d'impacts :

- Franchissements et recouvrements dunaires
- Percées dunaires
- Secteurs submergés en arrière dune
- Dégâts urbains : zones submergées, laisses de mer, sable

Fond orthophoto : composite orthophotographie du levé post-tempête ObsCat 2018 et image satellite Pléiades 2015

Impacts notables de la tempête du 1er Mars 2018 sur le secteur central de l'ObsCat. Exemples sur le secteur de Barcarès Nord – ©ObsCat – Brgm 2018



Types d'impacts :

- Franchissements et recouvrements dunaires
- Percées dunaires
- Secteurs submergés en arrière dune
- Dégâts urbains : zones submergées, laisses de mer, sable

Fond orthophoto : composite orthophotographie du levé post-tempête ObsCat 2018 et image satellite Pléiades 2015

Impacts notables de la tempête du 1er Mars 2018 sur le secteur sud de l'ObsCat. Exemples sur le secteur du lido de Canet – ©ObsCat – Brgm 2018

## **LittoSIM : Gérez le risque de submersion ! Dispositif participatif de sensibilisation à la gestion du risque de submersion marine.**

Elise Beck, UMR PACTE, Univ. Grenoble Alpes (elise.beck@univ-grenoble-alpes.fr)

Marion Amalric, UMR CITERES, Univ. Tours

Brice Anselme, UMR PRODIG, Univ. Paris I

Nicolas Bécu, UMR LIENSs, CNRS La Rochelle

Xavier Bertin, UMR LIENSs, CNRS

Etienne Delay, UMR GEOLAB, Univ. Limoges

Nathalie Long, UMR LIENSs, CNRS La Rochelle

Nicolas Marilleau, UMMISCO, IRD

Cécilia Pignon-Mussaud, UMR LIENSs, CNRS La Rochelle

Frédéric Rousseau, UMR LIENSs, Univ. La Rochelle

Comme le souligne le rapport de la mission commune d'information sur les conséquences de la tempête Xynthia, survenue en 2010 sur le littoral atlantique, cet événement a révélé l'existence de lacunes en termes de connaissances sur les risques et sur les différentes stratégies de prévention, notamment auprès des acteurs locaux.

Dans ce contexte se pose la question de la sensibilisation des élus et techniciens des collectivités locales en charge de la gestion du risque de submersion. Comment les sensibiliser aux différentes actions préventives possibles en termes d'aménagement du territoire, notamment dans un contexte de changement climatique ? Comment leur permettre de mesurer les effets de leur stratégie sur leur territoire ? Comment les amener à entrevoir d'autres formes de collaboration intercommunales ?

Pour répondre à ces défis, nous proposons un dispositif participatif qui met les acteurs locaux en situation de gérer un territoire communal. Le dispositif comprend un jeu sérieux pour reproduire les dynamiques sociales, une simulation d'aménagement du territoire et une modélisation physique de la submersion marine. Ainsi, les utilisateurs sont en mesure de tester différentes stratégies, d'en observer les modalités de mise en œuvre, avec leurs atouts et leurs inconvénients. Ludique et pédagogique, le dispositif est mis en œuvre au travers d'ateliers de sensibilisation d'une demi-journée. Les participants, élus et techniciens, sont répartis en équipes mixtes qui sont chacune amenées à gérer une partie du territoire via des actions d'aménagement et de protection du littoral. La survenue aléatoire de submersions leur permet d'observer l'impact de leurs actions. L'atelier est suivi d'un débriefing qui permet aux joueurs de revenir sur leurs stratégies à échelle communale, les coopérations intercommunales et les liens entre le jeu et la réalité. Dans une perspective de recherche, un protocole d'évaluation des apprentissages vise à mesurer l'évolution des connaissances avant/après atelier.

Le dispositif LittoSIM a été développé pour et avec le territoire de la communauté de communes de l'Île d'Oléron suivant une démarche de modélisation participative. En termes de résultats, le poster présentera les effets du dispositif sur la sensibilisation au risque de submersion, sur sa capacité à révéler les représentations du risque de submersion et à générer des apprentissages par le jeu. L'application au territoire oléronais montrera également que la coordination entre communes fait partie des besoins repérés par les acteurs.



# LittoSIM : Gérez le risque de submersion !

## Un dispositif participatif de sensibilisation à la gestion du risque de submersion



Elise Beck, Marion Amalric, Nicolas Becu, Brice Anselme, Xavier Bertin, Etienne Delay, Nathalie Long, Nicolas Marilleau, Cecilia Pignon-Mussaud, Frédéric Rousseaux

UMR 7266 LIENSs, CNRS - Université de La Rochelle, UMR 7324 CITERES, Université de Tours, UMR 8586 PRODIG, Université Paris 1, UMR 5194 PACTE, Univ. Grenoble Alpes, UMR 6042 GEOLAB, Université de Limoges, UMI 209 UMMISCO, IRD, France



### Problématique opérationnelle :

Dans un contexte de changement climatique, comment sensibiliser les élus et techniciens locaux aux mesures alternatives de prévention du risque de submersion marine ?

### Problématique de recherche - méthodes - objectifs

LittoSIM c'est :

- un atelier d'une demi-journée pour les acteurs locaux
- des actions d'aménagement d'un territoire littoral (Fig. 1)
- un jeu sérieux et interactif (Fig. 2)
- la modélisation physique d'une submersion (Fig. 3)
- un protocole d'enquête pour évaluer les apprentissages

Objectifs :

- améliorer la connaissance des risques
- sensibiliser aux mesures alternatives de prévention des risques de submersion marine
- accompagner les décideurs dans leurs choix

### Résultats

LittoSIM permet :

- une meilleure connaissance de l'aléa submersion marine
- une exploration des stratégies alternatives de gestion du risque
- la sensibilisation à la défense douce (Fig. 4 et Fig. 5)
- l'apprentissage de la nécessité de la coopération intercommunale (Fig. 6).

### Applications

LittoSIM est une **formation** destinée aux territoires qui élaborent leur PAPI. Elle a été déployée dans la Communauté de Communes de l'Île d'Oléron en 2016.

Pour en savoir plus :

<https://littosim.hypotheses.org/>

Sensibiliser au risque de submersion marine par le jeu ou faut-il qu'un jeu soit spatialement réaliste pour être efficace ? - 2017- Marion Amalric, Brice Anselme, Nicolas Bécu, Etienne Delay, Nicolas Marilleau, Cécilia Pignon et Frédéric Rousseaux - Sciences du jeu - 2017 - 23p.



Aménagement PLU et Habitat



Défense des côtes

Fig.1 : Actions possibles dans Littosim



Fig.2 : Debriefing



Fig.3 : Visualisation du territoire impacté par la submersion (carte et diagrammes des surfaces inondées).



Fig. 4 : Connaissance des mesures de prévention avant l'atelier

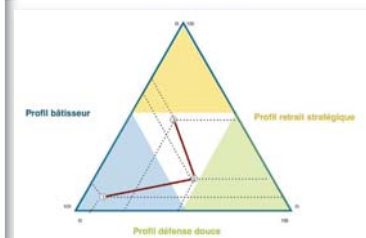


Fig. 5 : Evolution de la stratégie du joueur au cours du jeu



Fig. 6 : Plébiscite d'une coopération intercommunale



# **LX-shore : modèle d'évolution du trait de côte le long des littoraux sableux dominés par l'action des vagues**

**A. Robinet<sup>1</sup>, D. Idier<sup>1,\*</sup>, G. Le Cozannet<sup>1</sup>, B. Castelle<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, Orléans

<sup>2</sup> UMR CNRS 5805 EPOC, Univ. Bordeaux, Allée Geoffroy Saint-Hilaire, Pessac

\* d.idier@brgm.fr (correspondantes pour les ANRN 2019)

## **Résumé**

Prédire les évolutions futures du trait de côte est crucial pour les gestionnaires du littoral afin de limiter les dommages économiques et assurer la sécurité des personnes dans les zones littorales exposées à l'érosion des côtes. Les modèles d'évolution du trait de côte à complexité réduite s'appuyant sur les principaux processus physiques sont des outils parmi les plus pertinents (temps de calcul réduit) pour simuler la variabilité du trait de côte de l'échelle événementielle (tempêtes) à plusieurs décennies. Ils offrent aussi la possibilité d'explorer les changements dans la dynamique du trait de côte en réponse à des modifications des conditions de forçages (ex. vagues, apports en sédiment, remontée du niveau marin). Parmi ces modèles, le modèle LX-Shore introduit par Robinet et al. (2018) est capable de simuler des évolutions du trait de côte pour les littoraux sableux dominés par l'action des vagues contrôlées par la combinaison des gradients en transport longshore total et du transport cross-shore causé par la variabilité de l'énergie des vagues incidentes. LX-shore peut être appliqué à des côtes à géométries complexes (ex. flèches sableuses, îles). En fonction du site, le modèle peut aussi incorporer des zones non-érodables telles que des ouvrages de défenses côtières ou des caps rocheux. Le modèle est couplé avec le modèle spectral de vagues SWAN (Booij et al., 1999) pour traiter le cas de champs de vagues complexes. De récents développements numériques apportés à LX-Shore permettent désormais de simuler l'impact de la remontée du niveau marin sur la dynamique du trait de côte, avec en particulier l'inclusion de la loi de Bruun (Bruun, 1962). Le poster fournit une description synthétique de LX-Shore et de ces nouvelles implémentations, ainsi que plusieurs cas d'études simples pour illustrer les types applications possibles.

# LX-Shore : modèle d'évolution du trait de côte

Applicable aux littoraux sableux dominés par l'action des vagues

A. Robinet<sup>1</sup>, D. Idier<sup>1</sup>, G. Le Cozannet<sup>1</sup>,  
B. Castelle<sup>2</sup>  
arthurrobinet@yahoo.fr, d.idier@brgm.fr,  
g.lecozannet@brgm.fr, b.castelle@brgm.fr

1 : BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, Orléans  
2 : UMR EPOC 5805, CNRS, Université de Bordeaux



## Problématique opérationnelle, question posée :

Dans le contexte du changement climatique et de la remontée du niveau marin, il devient crucial de pouvoir prédire les évolutions du trait de côte.

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

- Constat : les modèles morphodynamiques usuels sont inadaptés pour simuler la dynamique, de l'échelle événementielle à centennale, des côtes sableuses dominées par l'action des vagues du fait de limitations physiques et numériques
- Objectif : développer un code d'évolution du trait de côte, suffisamment rapide et robuste pour permettre d'atteindre les échelles centennales et prendre en compte les incertitudes (en particulier celles liées à la remontée future du niveau marin)
- Méthode : combiner plusieurs modèles à complexité réduite, avec des temps de calcul réduits

## Résultats

- Développement de LX-Shore (Fig. 1) : prise en compte de processus longshore et cross-shore ; applicable à des côtes à géométries complexes ; couplage possible avec SWAN pour la résolution des vagues
- LX-Shore reproduit correctement les évolutions du trait de côte sur un large spectre spatio-temporel dues aux vagues et contraintes par la présence de structure en dur (Fig. 2)
- La loi de Bruun a été implémentée en vue de pouvoir simuler l'effet de la remontée du niveau marin (Fig. 3)
- Simulations sur la plage du Truc Vert (Gironde) :
  - climat de vagues de la période 2006-2015 supposé cyclique et remontée du niveau marin donnée par la limite probable haute du scénario RCP8.5 de l'IPCC
  - la contribution de la remontée du niveau marin deviendrait dominante à partir de 2090, avec un recul du trait de côte supérieur à 35-40 m (Fig. 3)

## Applications

A terme, le modèle LX-shore pourrait servir à mieux comprendre et prédire l'évolution du trait de côte en particulier dans le cadre des stratégies locales de gestion du littoral.

Pour en savoir plus : Robinet A., Idier D., Castelle B., Marieu V. (2018). LX-Shore : Un nouveau modèle d'évolution du trait de côte pour les littoraux sableux dominés par l'action des vagues. Actes XVèmes Journées Nationales Génie Côtier Génie Civil, 29-31 mai 2018, La Rochelle, 273-282, doi: 10.5150/jngcgc.2018.031

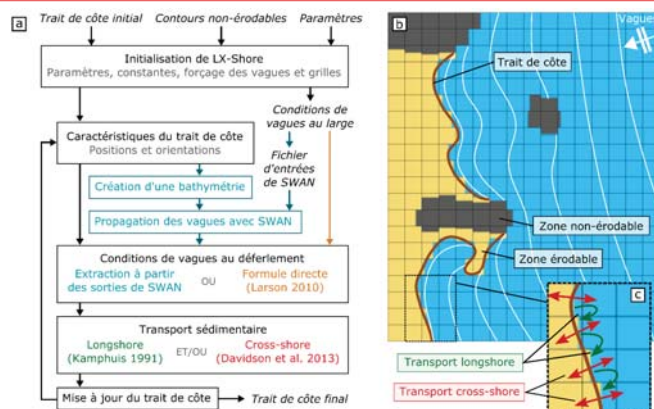


Figure 1. Principales caractéristiques de LX-Shore.

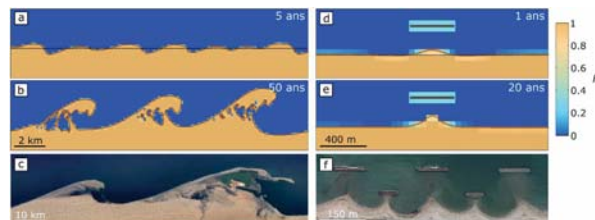


Figure 2. Evolutions du trait de côte simulées pour deux cas académiques impliquant des échelles spatio-temporelles distinctes. a, b Développement de flèches sableuses. c Côte Namibienne. d, e Effet de la mise en place d'un brise-lame. f Plage de Palavas-les-Flots (France). Pointillés noirs dans a et d : trait de côte de départ.

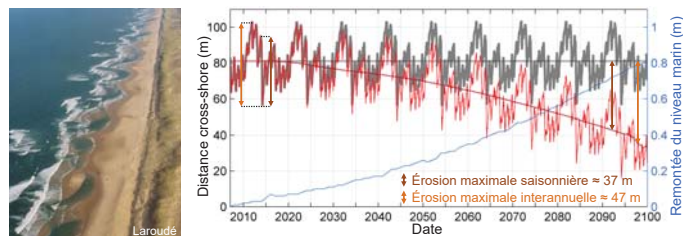


Figure 3. a Plage du Truc Vert. b Evolution du trait de côte simulée au Truc Vert en combinant (rouge) ou non (gris) la loi de Bruun avec le processus cross-shore et remontée du niveau marin (bleu) utilisée. Lignes en pointillés : moyennes glissantes sur 10 ans. Double flèches : érosions maximales saisonnière (vert, hiver 2013-2014) et interannuelle (marron, période 11/2011-03/2014) mesurées.

**Modélisation d'ensemble pour améliorer la robustesse de la prévision des crues éclair par réseaux de neurones artificiels. Application au bassin versant du Gardon d'Anduze à Anduze.**

T. Darras(1,5), G. Artigue (1), A. Johannet(1), B. Vayssade(1), L. Kong-A-Siou(2), S. Pistre (3), and D. Bertin

(1) LGEI, IMT Mines Alès, Univ. Montpellier, 6 Avenue de Clavières, 30319 Alès Cedex  
[guillaume.artigue@mines-ales.fr](mailto:guillaume.artigue@mines-ales.fr), [anne.johannet@mines-ales.fr](mailto:anne.johannet@mines-ales.fr)

(2) Hydrosociences, Univ Montpellier, CNRS, IRD, 163 rue Auguste Broussonnet - 34090 Montpellier  
[severin.pistre@umontpellier.fr](mailto:severin.pistre@umontpellier.fr)

(3) MAYANE, 1238 route de Ganges, 34 000 Montpellier, France  
[line.kongasiou@mayane.eu](mailto:line.kongasiou@mayane.eu)

(4) GEONOSIS, 650 chemin du Serre, 30140 Saint-Jean-du-Pin, France  
[dominique.bertin@geonosis.fr](mailto:dominique.bertin@geonosis.fr)

(5) OSGAPI, 123 impasse Font Baumettes, 30000 Nîmes France  
[thomas.darras@gmail.com](mailto:thomas.darras@gmail.com)

**Résumé.** Durant les dernières décennies, les réseaux de neurones artificiels ont été largement utilisés en modélisation hydro(géo)logique du fait de leurs propriétés de parcimonie et d'approximation universelle de fonctions non-linéaires. Appliqués à la prévision des crues soudaines, les modèles de perceptron multicouche récurrents et non récurrents présentent des propriétés intéressantes ; néanmoins, la performance des modèles ainsi obtenus est sensible à l'initialisation de leurs paramètres avant l'apprentissage. Habituellement la méthode de validation croisée est utilisée pour sélectionner la meilleure architecture ainsi que la meilleure initialisation des paramètres. Cette méthode a été prouvée comme très efficace pour assurer au modèle des propriétés de bonne généralisation, en particulier à des événements plus intenses que ceux inclus dans la base d'apprentissage (ensemble de calibration). Cependant lorsque l'on applique cette méthodologie à un bassin cévenol rapide (le Gardon d'Anduze, dans le Gard, France), pour la prévision à une heure, il apparaît que la méthode de validation croisée est incapable de sélectionner une initialisation conduisant à un modèle de bonne qualité de manière robuste. Pour pallier cet inconvénient, un modèle d'ensemble a été proposé et la médiane des sorties est prise à chaque pas de temps, en temps réel, pour déterminer la sortie prévue.

Dans ce contexte, ce poster présente les travaux réalisés pour déterminer le nombre optimal de modèles intégrés à l'ensemble et la qualité des résultats obtenus sur les quatre événements les plus intenses de la base de données : 8-9 septembre 2002, 19-20 octobre 2006, 17 novembre 2006, 21-23 octobre 2008. Une illustration est fournie sur l'événement majeur de la base de données : l'événement de septembre 2002 qui est deux fois plus intense en débit que le second événement.

**Remerciements :** les auteurs remercient le SCHAPI, et en particulier Bruno Janet et Arthur Marchandise pour leur soutien à cette étude.

Pour en savoir plus :

**Guillaume Artigue**, Prédiction des Crues Éclair par Réseaux de Neurones : Généralisation aux Bassins non Jaugés. Thèse de l'Université Montpellier 2, spécialité Eaux Continentales et Sociétés. Ecole Doctorale SIBAGHE. Soutenue le 3 décembre 2012

**Audrey Bornancin-Plantier**, Conception de modèles de prédiction des crues éclair par apprentissage artificiel. Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, spécialité Informatique. ED EDITE, soutenue le 25 février 2013

**Thomas Darras**, (2015). Prédiction des crues rapides par apprentissage statistique. Université de Montpellier II. Ecole Doctorale SIBAGHE, spécialité Eaux Continentales et Sociétés, soutenue le 3 novembre 2015

# Modèles d'ensemble pour la prévision hydrologique par réseaux de neurones

## Prévision des crues éclair du Gardon à Anduze (Gard, France)

T. Darras (1,5), [thomas.darras@gmail.com](mailto:thomas.darras@gmail.com)  
 G. Artigue, B. Vayssade, A. Johannet, (1)  
[guillaume.artigue@mines-ales.fr](mailto:guillaume.artigue@mines-ales.fr), [anne.johannet@mines-ales.fr](mailto:anne.johannet@mines-ales.fr)  
 L. Kong-A-Siou (1, 2, 3), [line.kongasiou@mayane.fr](mailto:line.kongasiou@mayane.fr)  
 S. Pistre (2), [severin.pistre@umontpellier.fr](mailto:severin.pistre@umontpellier.fr)  
 D. Bertin (4), [dominique.bertin@geonosis.fr](mailto:dominique.bertin@geonosis.fr)

(1) IMT Mines Alès, Univ Montpellier, 6 av. de Clavières 30310 Alès Cedex  
 (2) HSM, Univ Montpellier, CNRS, IRD, 163 rue Auguste Broussonnet - 34090 Montpellier  
 (3) MAYANE, 1238 route de Ganges, 34000 Montpellier  
 (4) GEONOSIS, 650 chemin du Serre, 30140 Saint Jean du Pin  
 (5) OSGAPI, Nîmes, 123 impasse Font Baumettes, 30000 Nîmes



### Définition de modèles de prévision, temps réel, à très courte échéance (2h) :

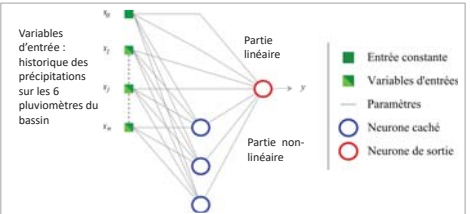
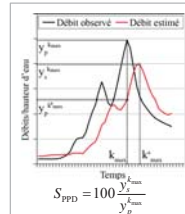


Les réseaux de neurones artificiels sont utilisés depuis plus de 25 ans pour la modélisation hydrologique. Dans le cadre d'une collaboration avec le SCHAPI, ils ont été appliqués à la prévision en temps réel des hauteurs d'eau à Anduze.

### Prévoir les crues rapides à Anduze

Test sur l'événement majeur de 2002

Nombre d'événements	51
Hauteur maximum (m)	9,88
Débit maximum ( $m^3 s^{-1}$ )	2965
Nombre d'événements intenses	19



Critère de qualité et Perceptron multicouches avec connexions linéaires  
 Darras 2015 - Artigue 2012

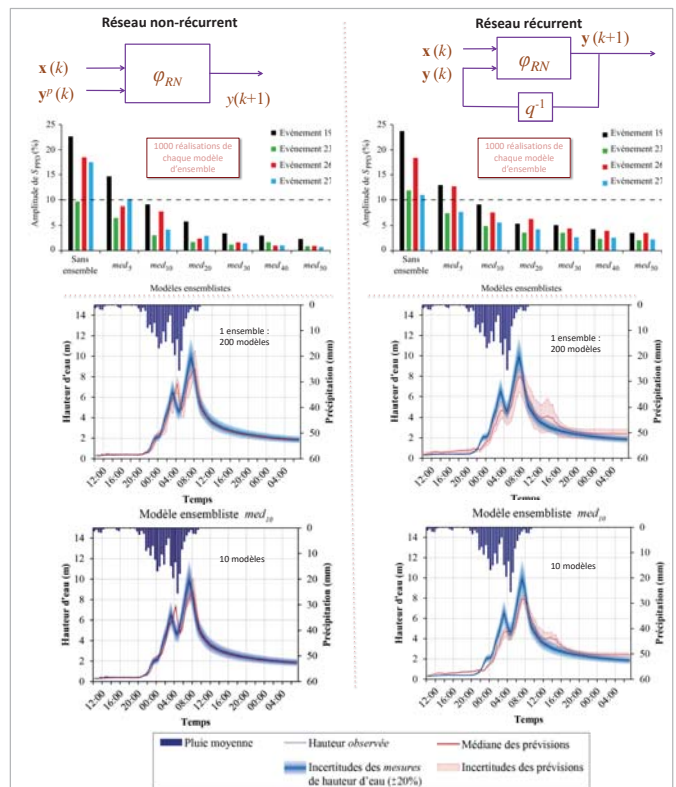
### Pallier l'incertitude liée aux paramètres : améliorer la robustesse

Avant l'apprentissage, le modèle doit être initialisé avec des paramètres aléatoires : il est montré que les performances du modèle peuvent énormément dépendre de cette initialisation. Un modèle d'ensemble est donc conçu :

- ⊙ M modèles sont créés et appris
- ⊙ La sortie à chaque pas de temps est la médiane des M sorties
- ⊙ Que vaut le M optimal ?

### Résultats

- ⊙ M = 10 membres dans l'ensemble (figure de droite)
- ⊙ Modèles récurrents et non récurrents complémentaires
- ⊙ Généralisation au-delà de la gamme de valeurs de l'ensemble d'apprentissage



Prévision à 1 h des hauteurs à Anduze – événement de septembre 2002  
 Darras 2015

### Pour en savoir plus :

**Guillaume Artigue**, Prévision des crues éclair par réseaux de neurones : généralisation aux bassins non jaugés. Thèse de l'Université Montpellier 2, spécialité Eaux Continentales et Sociétés. Ecole doctorale SIBAGHE. Soutenue le 3 décembre 2012

**Audrey Bornancin-Plantier**, Conception de modèles de prévision des crues éclair par apprentissage artificiel. Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, spécialité Informatique. ED EDITE, soutenue le 25 février 2013

**Thomas Darras**, (2015). Prévision des crues rapides par apprentissage statistique. Université de Montpellier II. Ecole Doctorale SIBAGHE, spécialité Eaux Continentales et Sociétés, soutenue le 3 novembre 2015



## **Assises nationales des risques naturels 25 et mars 2019 à Montpellier**

### Titre du poster :

Élaboration d'un outil cartographique d'interprétation des conséquences potentielles d'une inondation sur le territoire à destination de la mission RDI

### Auteurs à contacter pour toute communication relative aux Assises :

Laëtitia BOMPÉRIN – Direction départementale des territoires et de la mer d'Ille-et-Vilaine  
(2MC2)  
laetitia.bomperin@ille-et-vilaine.gouv.fr

Thomas BELIN – Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement de Bretagne  
(SPPR/DPCH)  
thomas.belin@developpement-durable.gouv.fr

### Mots-clés :

Inondations, RDI, ZIP, Enjeux

### Résumé (433 mots) :

La mission de Référent départemental inondation (RDI) a été mise en place par la circulaire du 28 avril 2011 au sein de chaque Direction départementale des territoires (et de la mer) (DDTM). Cette mission consiste d'une part, en gestion de crise, à apporter au préfet une interprétation des données hydrologiques relatives à la prévision des crues élaborées et transmises par le service de prévision des crues (SPC), ainsi que la traduction des prévisions de hauteur d'eau en terme de conséquences pouvant être attendues sur les enjeux territoriaux, et d'autre part à préparer la gestion de crise, en liaison avec le SPC.

La mission RDI peut être assurée, en phase de préparation à la gestion de crise, par une équipe technique référente, et en gestion de la crise, par le cadre d'astreinte, de profil pouvant être généraliste, sans expertise particulière en matière de compréhension des phénomènes d'inondation.

Dans le cadre de la mise en oeuvre de cette mission en Ille-et-Vilaine, un outil cartographique a été développé par la DDTM d'Ille-et-Vilaine pour faciliter la traduction des prévisions de hauteur d'eau transmises par le SPC sur les enjeux du territoire. A visée opérationnelle pour la gestion de crise inondation, il est à destination des acteurs de la crise : cadres d'astreinte, SDIS, collectivités.

Cet outil de croisement dynamique permet de rendre compte des prévisions hydrologiques du SPC en les traduisant en terme de zones inondées et d'enjeux touchés. Les scénarios d'inondation ont été établis à partir des cartes de zones inondées potentielles (ZIP). Ces cartes de ZIP ont été réalisées par le SPC à partir de modèles hydrauliques construits et calés par le SPC. La modélisation permet de disposer de cartes à des niveaux d'inondation pré-établis, à intervalles réguliers croissants. Les cartes produites peuvent être mises à jour à la faveur d'évènement récent observé et d'amplitude comparable.

Pour apporter un encadrement supplémentaire aux prévisions du SPC et les traduire en terme d'impact sur les enjeux, l'outil utilise également des crues observées (crues réelles reconstituées à partir de laisses de crues ou de photos aériennes). Plusieurs catégories d'enjeux peuvent être affichées : habitations, activités économiques, réseaux (routes, stations d'épuration, ...), enjeux sensibles (établissements de santé, établissements d'enseignement, ...). Le croisement aléa/enjeux accessible à l'ensemble des acteurs de la gestion de crise constitue la plus-value la plus importante de cet outil.

Très simple d'utilisation, l'outil ne nécessite aucune compétence en SIG. Il a été testé en exercices de crise et en situation réelle de crise lors des inondations de juin 2018. Il est actuellement en cours de déploiement auprès des opérationnels de la crise sur le département d'Ille-et-Vilaine.

# Outil cartographique d'interprétation des conséquences potentielles d'une inondation

Dans le cadre de la mission de Référent Départemental Inondation (RDI)

Laëtitia BOMPÉRIN, Nicolas CHENEVIÈRE  
Thomas BELIN  
laetitia.bomperin@ille-et-vilaine.gouv.fr  
nicolas.cheneviere@ille-et-vilaine.gouv.fr  
thomas.belin@developpement-durable.gouv.fr

Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) d'Ille-et-Vilaine  
Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement  
(DREAL) Bretagne



Dans le cadre du déploiement de la mission de Référent Départemental Inondation (RDI), mise en place en 2011 au sein de chaque DDTM, un outil cartographique a été développé pour faciliter la traduction des prévisions de hauteur d'eau sur les enjeux du territoire du bassin de la Vilaine.

## Objectifs

La mission RDI consiste d'une part, à préparer la gestion de la crise inondation, en liaison avec le Service de Prévision des Crues (SPC), et d'autre part, en gestion de crise, à apporter au préfet une interprétation des données hydrologiques relatives à la prévision des crues, élaborées et transmises par le SPC.

En phase de gestion de crise, la mission RDI peut être assurée par un cadre d'astreinte, de profil généraliste, sans expertise particulière en matière d'interprétation des prévisions des inondations ou compétences en SIG.

L'outil développé, très simple d'utilisation, à destination des cadres d'astreintes de la DDTM, mais aussi d'autres acteurs de la gestion de crise (SDIS, collectivités), vise à faciliter et encadrer la traduction des prévisions de hauteur d'eau transmises par le SPC.

## Résultats

Cet outil de croisement dynamique permet de traduire les prévisions hydrologiques du SPC sur le secteur surveillé en zones inondées et enjeux touchés (habitations, activités économiques, enjeux sensibles...). Les scénarios d'inondation ont été établis à partir des cartes de zones inondées potentielles (ZIP), réalisées par le SPC. Pour apporter un encadrement supplémentaire aux prévisions du SPC, l'outil utilise également des crues observées, reconstituées à partir de laisses de crues ou photos aériennes.

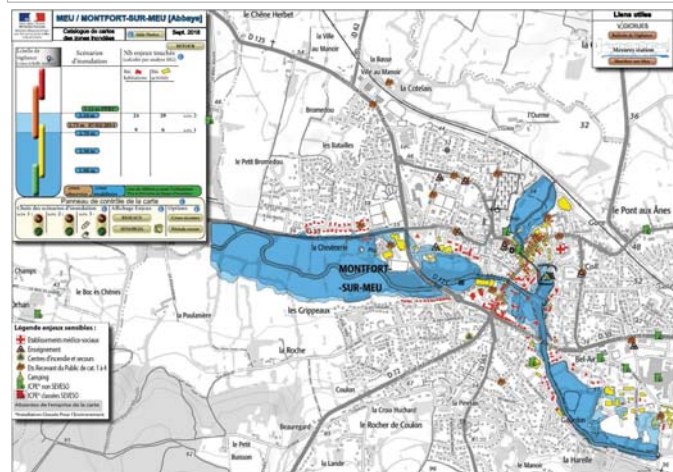
Le croisement de l'aléa avec les enjeux, accessible facilement, constitue la plus-value importante de cet outil.

## Applications

L'outil a été testé en exercices de crise et en situation réelle de crise lors des inondations qui ont touché le département d'Ille-et-Vilaine en juin 2018. Il est en cours de déploiement auprès des opérationnels locaux de la crise.

Fin 2018, 55 pompiers du SDIS y ont été formés.

## Exemple sur le secteur de Montfort-sur-Meu



## Témoignage d'utilisateur : le SDIS 35

« Cet outil d'aide à la décision a toute sa place dans les postes de commandement activés sur le terrain. C'est un moyen complémentaire aux outils de gestion opérationnelle et de commandement des SDIS. Sa conception, résolument orientée vers l'opérationnel, le rend très lisible et accessible à tout type d'utilisateur, ce qui est un plus dans le cadre d'une gestion de crise en mode interservices. »

## L'outil testé lors des inondations de juin 2018



Crédits photos : France 2 / France 3 Bretagne - C. Rousseau

*Sophie Lecacheux*  
*s.lecacheux@brgm.fr*

## **Outil d'aide à la décision communal pour la gestion des submersions marines à La Réunion**

Auteurs : Sophie Lecacheux<sup>1</sup>, François Paris<sup>1</sup>, S. Sauvagnargues<sup>2</sup>, P.A. Ayrat<sup>2</sup>, Jérémy Rohmer<sup>1</sup>, Rodrigo Pedreros<sup>1</sup>, F. Tena-Chollet<sup>2</sup>, T. Wassner<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BRGM, 3 av. C. Guillemin - 45060 Orléans Cedex 2 – France

<sup>2</sup> LGEL, 6 avenue de Clavières, 30319 ALÈS

**Contact :** Sophie Lecacheux / s.lecacheux@brgm.fr

Les submersions marines par franchissement de paquets de mer sont fréquentes à la Réunion, en particulier lors d'événements cycloniques. Compte tenu de l'ampleur géographique limitée de ce phénomène, les municipalités sont souvent en première ligne pour assurer la protection de la population. Les prévisions opérationnelles actuelles fournissent les conditions marines côtières des vagues et des niveaux d'eau, mais ces informations ne sont pas directement utilisables pour estimer l'extension de l'inondation. Les municipalités ont donc besoin d'outils souples et pratiques pour interpréter les prévisions marines en termes d'impact sur leur territoire et pour renforcer leur capacité à anticiper et à organiser leur réponse opérationnelle.

Fort de ce constat, le projet de recherche SPICy a travaillé sur un outil d'aide à la décision cartographique pour la commune pilote de Sainte-Suzanne (côte nord de La Réunion). Cet outil est basé à la fois sur l'analyse d'événements historiques, les observations de terrain et la modélisation numérique. La méthode repose notamment sur une base de données pré-calculée de 500 événements synthétiques simulés avec une chaîne complète de modèles: (1) WW3 pour les vagues (2) MARS-2DH pour les niveaux d'eau et l'inondation (3) SWASH pour le calcul des franchissements. L'analyse de la relation entre les conditions marines, les volumes franchissant et les zones inondées a conduit à la constitution de cartes d'inondation, délimitant l'extension des zones exposées pour différents niveaux de forçage en mer. Ces cartes sont associées à un plan d'intervention gradué définissant une liste d'actions opérationnelles associées à chaque niveau de gravité (surveillance du niveau de l'eau, alerte, fermeture des routes, évacuation, etc.). Les critères de transition entre les différents niveaux relient les prévisions marines aux observations de terrain et aux repères historiques, permettant ainsi différentes lectures et types d'utilisation.

Cet outil a été construit en collaboration avec les services municipaux de la ville de Sainte-Suzanne et testé lors d'un exercice de crise sur site. Au cours de l'exercice, il a permis aux services municipaux de se projeter et d'anticiper les actions à mettre en œuvre. L'appropriation de cet outil d'aide à la décision doit se poursuivre pour que les services municipaux gagnent en efficacité. La transposition de la méthode sur d'autres communes est envisagée.



# Outil d'aide à la décision communal pour la gestion des submersions marines

## Plan d'Intervention Graduée Submersion - Sainte-Suzanne (La Réunion)

S. Lecacheux, F. Paris, J. Rohmer, R. Pedreros  
S. Sauvagnargues, P.A. Ayrat, F. Tena-Chollet  
F. Bonnardot, H. Quetelard

BRGM – DRP/R3C  
IMT Mines d'Alès  
METEO-France

Contacts: [s.lecacheux@brgm.fr](mailto:s.lecacheux@brgm.fr), [sophie.sauvagnargues@mines-ales.fr](mailto:sophie.sauvagnargues@mines-ales.fr), [francois.bonnardot@meteo.fr](mailto:francois.bonnardot@meteo.fr)



### Problématique :

Lors d'évènements météo-marins majeurs (tempêtes, cyclones), les collectivités ont besoin d'outils pour interpréter les prévisions marines en termes d'impacts sur le territoire et ainsi renforcer leur capacité d'anticipation et de réponse opérationnelle.

### Méthode - objectifs

- Construction d'une base de données (BDD) submersion grâce aux connaissances historiques, aux observations de terrain et à la modélisation de centaines d'évènements potentiels.
- Analyse de sensibilité et hiérarchisation des processus marins conduisant à la submersion marine.
- Analyse des relations entre conditions marines et zones inondées pour déterminer des seuils de gravité.

### Résultats

- Le Plan d'Intervention Graduée (PIG) est constitué d'un ensemble de cartes délimitant l'extension des zones exposées à la submersion pour différents niveaux d'intensité des conditions marines.
- Chaque niveau du PIG est associé à une liste d'actions réflexes opérationnelles (surveillance, alerte, fermeture des routes, évacuation préventive, gestion des réseaux, etc.).
- Les critères de transition entre les différents niveaux du PIG relient les prévisions marines disponibles en ligne aux observations de terrain et aux références historiques, permettant différents niveaux de lecture et d'anticipation.

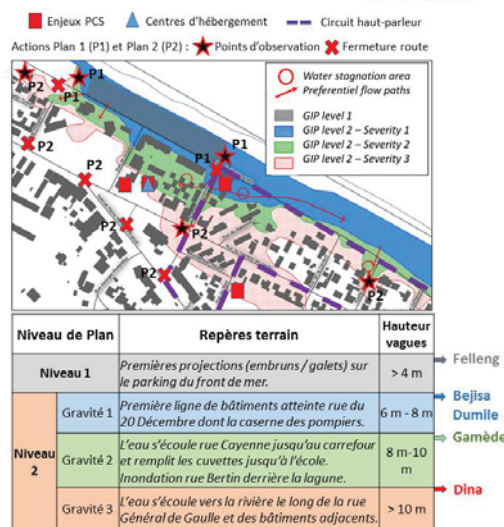
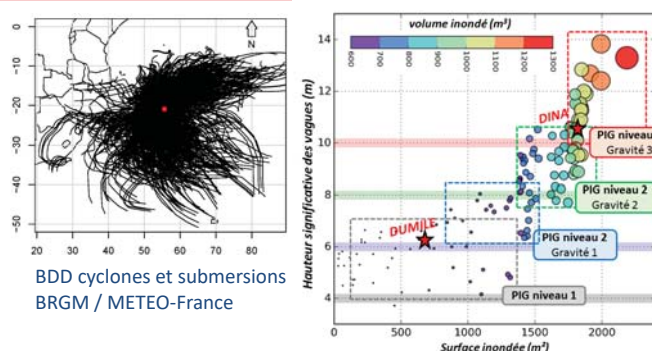
### Applications

- Un travail collaboratif avec la commune a permis d'adapter le PIG à leurs pratiques et aux spécificités du territoire.
- L'opérationnalité du plan a été testée, ajustée et validée lors d'exercices de crise communaux dédiés.
- La transposition de la méthode sur d'autres territoires est envisagée à l'outre-mer comme en métropole.

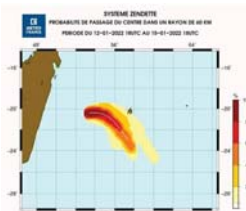
#### Pour en savoir plus :

Projet SPICY (ANR – 14 – CE03 – 0013) : [spicy.brgm.fr](http://spicy.brgm.fr)

Paris, F., Lecacheux, S., Pedreros, R., Rohmer, J., Sauvagnargues, S., Ayrat, P.-A., Tena-Chollet, F., Bonnardot, F., & Quetelard, H. (2019). A framework to design a GIS-based decision support tool for cyclone-induced marine flooding emergency management at Reunion Island. In: SimHydro 2019, 12-14 June 2019, Sophia Antipolis, France.



PIG submersion Ste-Suzanne et critères de transition –BRGM / Mines d'Alès



Exercice SPICY 2017 – Scénario cyclonique et salle de crise à Sainte-Suzanne

## **Pertinence de la recherche dans les projets de (re) construction post désastre : le cas de Haïti**

Thierry JOFFROY, laboratoire CRAterre, UR AE&CC (Labex), ENSAG, Univ. Grenoble Alpes

Harisoa Mampionona Julpheli RAKOTONIRINA, UR AE&CC (Labex), ENSAG, Univ. Grenoble Alpes, CDP Risk@Univ. Grenoble Alpes

Laurent DAUDEVILLE, laboratoire 3SR, Univ. Grenoble Alpes

Yannick SIEFFERT, laboratoire 3SR, Univ. Grenoble Alpes

Olivier MOLES, CRAterre

Christian BELINGA NKO'O, CRAterre

Alexandre DOULINE, Misereor / CRAterre

Philippe GARNIER, laboratoire CRAterre, UR AE&CC (Labex), ENSAG, Univ. Grenoble Alpes, CDP Risk@Univ. Grenoble Alpes (*Personne contact : garnier.p@grenoble.archi.fr*)

Depuis le séisme de 2010 qui a lourdement impacté Haïti, les laboratoires AE&CC de l'ENSAG et 3SR de l'UGA se sont associés à des acteurs de terrain pour apporter une réponse à la reconstruction notamment grâce au soutien de l'ANR dans le cadre de l'appel Flash Haïti : le projet ReparH, porté par CRAterre. L'objectif était d'articuler approche scientifique transdisciplinaire et projets de terrain pour développer une méthodologie de projet et des réponses architecturales de qualité prenant en compte les usages et pratiques à travers la valorisation des cultures constructives locales. En effet, les premières analyses faites sur le terrain avaient montré que les constructions traditionnelles en ossature bois avaient beaucoup mieux résisté au séisme que les constructions récentes.

Ce travail en Haïti a été réalisé en partenariat avec de nombreuses organisations nationales ainsi que des ONGs et organisations internationales (notamment MISEREOR, Entrepreneurs du monde et UN-Habitat). Les éléments produits par ce projet ont assez vite permis d'établir des liens avec le Ministère en charge de la reconstruction (MTPTC) et débouché sur la validation de systèmes constructifs adaptés aux conditions locales et surtout aux moyens pouvant être sollicités sur le terrain et présentant une bonne accessibilité technique et économique pour les populations affectées.

Les travaux de recherche ont d'abord porté sur l'identification des spécificités locales en matière de construction (matériaux, techniques, savoir-faire, organisation), de mode d'habiter (espaces intérieurs et extérieurs, et leurs utilisations) et d'aménagement du territoire (implantation, accès, etc.). Ces éléments ont fait l'objet d'une analyse permettant d'identifier les forces et faiblesses à ces différents niveaux, menant à un travail de retro-conception visant à répondre au besoin de reconstruire plus durable, mais aussi sans trop grever la question primordiale d'accessibilité économique.

Sur cette base, c'est dans un premier temps plus de 3000 familles qui ont pu être relogées décemment, puis, le projet faisant tâche d'huile auprès d'autres organisations, notamment après le passage de l'ouragan Irma qui, involontairement, permit de confirmer in-situ les hypothèses scientifiques de la résistance des constructions aux cyclones. Aujourd'hui, plus de 8000 familles ont vu leur habitat soit réparé, soit reconstruit et le processus se poursuit.

Le succès de ce projet articulant recherche et action de terrain a été plébiscité par l'ANR qui a retenu ReparH parmi les 10 projets phares de sa première décennie d'activité (rapport de 2016). Plus récemment, le projet dans son ensemble, y compris ses continuités menées de façon indépendantes par de nombreux acteurs sur place s'est vu attribué la Mention spéciale du World Habitat Award 2018

# Pertinence de la recherche dans les projets de (re)construction post-désastre

*Le cas d'Haïti après de séisme de 2010*

Thierry JOFFROY  
Harisoa Mampionona Julpheli RAKOTONIRINA  
Laurent DAUDEVILLE  
Yannick SIEFFERT  
Olivier MOLES  
Christian BELINGA NKO'O  
Alexandre DOULINE  
Philippe GARNIER  
Contact : [garnier.p@grenoble.archi.fr](mailto:garnier.p@grenoble.archi.fr)

UR AE&CC (Labex), ENSAG, UGA,  
CDP Risk@Univ. Grenoble Alpes,  
Laboratoire 3SR, UGA  
CRATERre  
Misereor



## Problématique opérationnelle, question posée :

Suite au séisme de 2010 qui a provoqué la mort de plus de 200 000 haïtiens et la destruction de la capitale de leur pays : comment répondre à la **demande sociale formulée par les haïtiens pour un habitat para-sinistre techniquement fiable, financièrement accessible et culturellement adapté ?**

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Une **approche** privilégiant une **reconstruction adaptée** aux besoins, capacités et dynamiques locales, **articulant problématiques de terrain et transdisciplinarité** (architecture, ingénierie, sociologie, etc.) et associant **praticiens du terrain et chercheurs** a été adoptée. Pour cela, une synergie a été établie entre des **programmes de (re)construction d'habitats** et le **projet de recherche RepairH** (avec le soutien de l'ANR, Misereor, EdM, SC-CF et UN-Habitat). Un travail d'identification des **cultures constructives locales** a été mené par CRATERre et l'UR AE&CC de l'ENSAG. Sur cette base, le laboratoire 3SR de l'UGA a pu faire un travail d'**expérimentation-modélisation** qui, validé sur le terrain et sur table vibrante, a permis la **mise au point d'un système constructif performant, fiable et adapté** au contexte haïtien. Il est **aujourd'hui largement repris**.



Habitat rural endommagé par le séisme – A. Douline / Ruines dans Port-au-Prince détruit – P. Garnier

## Résultats

Ce **processus interactif** « action sur le terrain - recherche » et entre disciplines a permis la mise au point d'un mode opératoire contribuant au relogement de 3 000 familles à l'issue de la phase opérationnelle (désormais plus de 8 000). Le **système qui a pris l'appellation de « TCLA »** a été **validé** par le Ministère haïtien en charge de la reconstruction. C'est un « standard ». Ce travail a été distingué par le **World Habitat Award** (Mention spéciale 2018) et fait partie des 10 **projets références de l'ANR** (cf. rapport 2016)



Sensibilisation et formation des professionnels et des communautés – Misereor / Séminaire des parties prenantes – P. Garnier

## Applications

Cette méthode de travail est transposable dans d'autres contextes où il s'agit de **répondre aux besoins locaux** et aux exigences des **objectifs du développement durable**. Il privilégie l'innovation frugale à travers la **retro-ingénierie** des cultures constructives locales.



Premier prototype de TCLA (Techniques de Construction Locales Améliorées) – / Essai sur table vibrante au FCBA – C. Belinga

Pour en savoir plus :

<http://www.agence-nationale-recherche.fr/suivi-bilan/suivi-des-actions/10ans/repairh/>  
<http://www.grenoble.archi.fr/recherche/repairh.php>



# Plateforme SURICATE-Nat : Des citoyens capteurs pour mieux comprendre le terrain en cas de catastrophe naturelle

Samuel AUCLAIR<sup>1</sup>, Rachid OUARET<sup>2</sup>, Faïza BOULAHYA<sup>1</sup>, Robin QUIQUE<sup>1</sup>, Babiga BIRREGAH<sup>2</sup>, Eddie SOULIER<sup>2</sup>, Pascal PERRIER<sup>1\*</sup>, Abed BENAICHOUCHE<sup>1†</sup>

1 - BRGM

2 - Université de technologie de Troyes

Contact : [s.auclair@brgm.fr](mailto:s.auclair@brgm.fr)

Il est souvent difficile de percevoir rapidement l'étendue des conséquences d'une catastrophe naturelle lorsque les routes sont coupées, la téléphonie mobile saturée, et que les informations parcellaires en provenance du terrain arrivent au compte-goutte. C'est pourtant sur la base de ce diagnostic que doit s'organiser la gestion de la catastrophe, des secours, l'assistance aux sinistrés, et surtout le suivi de la dynamique du phénomène.

L'expérience montre cependant que la survenue de catastrophes naturelles se traduit le plus souvent par la diffusion rapide et massive de messages sur les réseaux sociaux, et tout particulièrement sur Twitter dont le principe de messages courts est particulièrement bien adapté à l'expression instantanée de témoignages sur le vif. Par exemple, près de 150.000 tweets qui ont été échangés en Italie en 2016 dans les premières 48 heures après le séisme d'Amatrice, et plus de 110.000 tweets ont été échangés en France lors des inondations du printemps 2016. Lorsque tout est à terre et que les moyens de communication avec la zone impactée sont réduits, les réseaux-sociaux demeurent parfois la seule source d'information in-situ, comme ce fut le cas juste après le séisme dévastateur d'Haïti en 2010. Certains des messages ainsi échangés permettent de se faire une idée précise des conséquences via des témoignages, des photos ou des vidéos. Cette mine potentielle d'informations est cependant difficile à exploiter...

Fort de ce constat, le BRGM développe, en collaboration avec l'UTT et avec le soutien de la Fondation MAIF, une plateforme participative d'analyse semi-automatique des messages en lien avec les catastrophes naturelles émis sur le réseau social Twitter pendant la survenance d'une catastrophe naturelle. Dénommée « SURICATE-Nat » ([www.suricatenat.fr](http://www.suricatenat.fr)), cette plateforme a pour objectif à court terme d'exploiter les témoignages postés sur Twitter immédiatement après une catastrophe naturelle. Elle repose sur le principe de remontée d'informations depuis le terrain par les « citoyens capteurs », considérant chaque individu comme un capteur doué de cinq sens capable de restituer ses « enregistrements/témoignages » de manière spontanée et rapide. De surcroît, répondant à la volonté « d'engagement » actif des internautes dans l'analyse des données les concernant directement, SURICATE-Nat propose une fonctionnalité participative reconnaissant la valeur de « l'expertise citoyenne », qui permettra à chaque internaute de prendre part à classification manuelle des Tweets. Cette approche vise à compléter les algorithmes d'intelligence artificielle utilisés pour l'analyse automatique des messages en vue de fournir des indicateurs pour l'aide à la décision.

---

\* Maintenant à l'Agence française pour la biodiversité

† Maintenant à l'Inception Institute of Artificial Intelligence

# Plateforme SURICATE-Nat pour l'analyse automatique de Twitter

Des citoyens capteurs en cas de catastrophe naturelle

Samuel AUCLAIR<sup>1</sup>, Rachid OUARET<sup>2</sup>, Faïza BOULAHYA<sup>1</sup>,  
Robin QUIQUE<sup>1</sup>, Babiga BIRREGAH<sup>2</sup>, Eddie SOULIER<sup>2</sup>,  
Pascal PERRIER<sup>1\*</sup>, Abed BENAICHOUCHE<sup>1\*\*</sup>  
Contact : [s.auclair@brgm.fr](mailto:s.auclair@brgm.fr)

1- BRGM  
2 – Université de technologie de Troyes  
\* Maintenant à l'Agence française pour la biodiversité  
\*\* Maintenant à l'Inception Institute of Artificial Intelligence



Projet soutenu par :



## Problématique opérationnelle, question posée :

Lors de catastrophes naturelles d'ampleur, les autorités ont besoin d'un maximum d'informations en provenance du terrain, et se tournent donc de plus en plus vers les réseaux sociaux. Dès lors, comment les aider à analyser ces énormes volumes de données et à en tirer des informations utiles ?

## Problématiques de recherche - méthodes – objectifs

Le projet a pour objectif de développer une méthodologie d'analyse permettant d'exploiter les témoignages postés sur Twitter immédiatement après une catastrophe naturelle. Cela suppose de pouvoir capter, filtrer et enrichir (i.e. classifier et géolocaliser) automatiquement les messages pertinents de sorte à leur donner du sens, et nécessite donc le recours à des techniques de « Machine Learning ».

## Résultats

Le principal résultat du projet est la plateforme SURICATE-Nat ([www.suricatenat.fr](http://www.suricatenat.fr)) qui permet la consultation des analyses réalisées en continu à partir de l'analyse de Twitter. Les chaînes de traitement implémentées permettent par exemple de détecter automatiquement la survenue d'un séisme à partir de pics d'activité, et de fournir rapidement de premières informations quant à son impact potentiel. Un travail est en cours afin de proposer une chaîne d'analyse adaptée aux inondations, pour en particulier repérer les effets reportés par les internautes (routes inondées, secteur isolé, ...). Par ailleurs, une méthodologie innovante de géolocalisation des tweets a été développée et est en cours de test.

## Applications

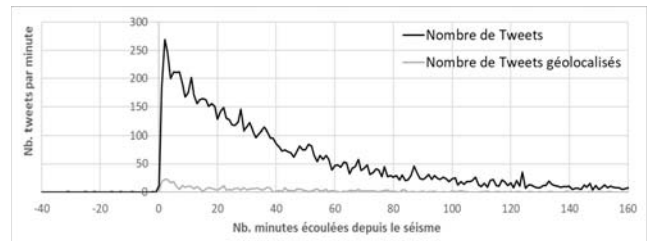
D'ores et déjà outil opérationnel d'information du public, la plateforme SURICATE-Nat vise à contribuer au développement d'une culture du risque en adressant le sujet sous l'angle ludique du numérique et du participatif. Mais à terme, l'ambition est également d'ouvrir les informations inférées via Twitter aux autorités en charge de la gestion des crises.

Pour en savoir plus :

[www.suricatenat.fr](http://www.suricatenat.fr)  
<https://twitter.com/suricatenat>



Aperçu de la plateforme internet SURICATE-Nat – BRGM-UTT



Activité Twitter associée au séisme de l'Ubaye du 7 avril 2014 – BRGM



Localisation des tweets géolocalisés émis lors du séisme de l'Ubaye du 7 avril 2014, et comparaison avec l'intensité des secousses sismiques établies par le BCSF – BRGM

## Analyse multidurées de chroniques pluviométriques pour construire des « pluies de projet de bassin » : un outil de mise en œuvre concrète, limites de l’approche, perspectives

C. Poulard<sup>1</sup>, E. Leblois<sup>1</sup>, J.-B. Faure<sup>1</sup>, Q. Royer<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Irstea, UR RiverLy, Equipes Hydrologie des Bassins Versants et Hydraulique des Rivières, Irstea Lyon-Villeurbanne, France

<sup>2</sup> Irstea, RECOVER-FRESHCO 13182 Aix en Provence

Le code ARFAN (« Areal RainFall ANalyses ») permet l’analyse multidurées de chroniques de pluie à pas de temps fixe. Il peut traiter les chroniques ponctuelles, ou des « pluies de bassin » qui en sont déduites (méthode des polygones de Thiessen ‘dynamique’ recalculant les coefficients de pondération en fonction des lacunes, calcul géostatistique par simulations conditionnelles, permettant d’estimer l’incertitude [code externe SAMPO]).

L’échantillonnage est réalisé en maxima annuels et par dépassement de seuils (avec contrôle du choix du seuil et des critères d’indépendance, et validation de l’échantillon obtenu). L’ajustement des lois de probabilité reconnues donne les quantiles. Répéter sur la chronique moyennée sur plusieurs durées produit les courbes Intensité-durée-Fréquence décrivant le régime des pluies fortes (de bassin le cas échéant).

Ces IdF sont classiquement utilisées pour construire des « pluies de projet probabilistes », moyennant le choix *a priori* d’une forme, symétrique ou non (triangle, double triangle, hyétoگرامme « moyen »). Cependant, cet objet est subjectif et très réducteur. La pluie « de bassin » suppose une hypothèse d’homogénéité spatiale des pluies ; or la variabilité temporelle et spatiale des phénomènes est considérable y compris au sein du bassin, et gouverne l’effet concret de tous dispositifs. Une stratégie de gestion des crues, basée ou non sur des ouvrages à dimensionner, doit considérer cette variabilité des phénomènes.

Un progrès possible est de travailler par simulation continue : générer des chroniques de débit à partir de longues chroniques de champs de pluie stochastiques. La méthode est plus exigeante à mettre en œuvre, mais restitue une variabilité riche et réaliste, nécessaire pour évaluer véritablement l’aléa d’inondation et l’effet d’ouvrages sur cet aléa.

ARFAN est un outil de recherche ouvert et évolutif, destiné à tester des méthodes. Une version stable sera aussi disponible pour des utilisations pédagogiques et à l’attention des services de l’État et des bureaux d’étude.

**Ces travaux bénéficient du soutien du Ministère français chargé de l’Environnement (convention Multirisques) et de partenariats (PHC franco-algérien Tassili ; université autonome de Querétaro, Mexique). SAMPO a été soutenu par divers acteurs (ANR Floodscale, CCR, EdF, Sintef).**

# « Pluies de projet de bassin » : oui, mais...

Un outil pour les construire... en attendant d'autres approches

C. Poulard, E. Leblois, J.-B. Faure, Q. Royer  
Prenom.nom@irstea.fr

IRSTEA Lyon-Villeurbanne  
U.R. RiverLY-  
Equipes Hydrologie et Hydraulique



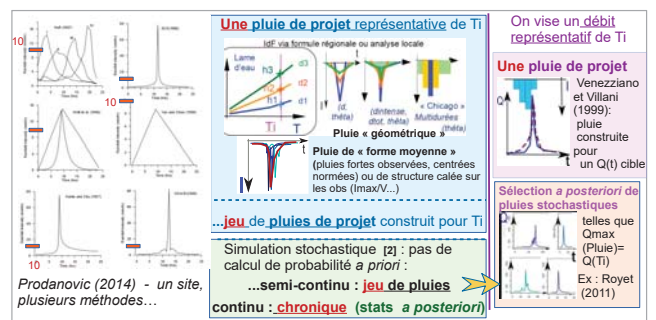
## Améliorer et faciliter la construction :

un outil d'analyse multidurées de chroniques pluviométriques

... en discutant les limites : une revue biblio

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Pour caractériser l'aléa inondation ou l'effet d'ouvrages sur cet aléa, une pratique courante est de définir une « pluie de projet de bassin » ou une « crue de projet » probabilisée, injectée ensuite en entrée d'un modèle.  
Notre objectif est d'analyser ces méthodes et de faciliter la construction de pluies de projet « de bassin » et la comparaison de variantes... en attendant d'autres approches qui prennent mieux en compte la variabilité des événements.



### Résultats

- Analyse bibliographique [1] : panorama des méthodes (fig. 1) et critiques, parfois vives, surtout en réseau ramifié [2] !
- Prototype de code « ouvert » pour faciliter :
  - la critique de chroniques
  - le calcul de chroniques de pluie « de bassin » multidurées (2)
  - l'échantillonnage des maximums (max annuels, sup-seuil : (3))
  - l'ajustement de courbes Intensité-durée-Fréquence
  - La construction de pluies (dont « forme moyenne »...)
  - ... possibilité d'ajouter facilement d'autres modules (débits...)

### Applications

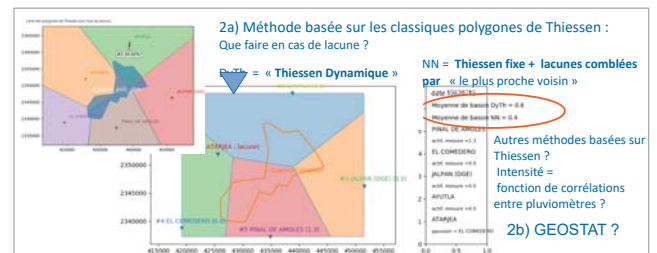
- en Recherche : tests et comparaisons
- de variantes de modules (avec Univ. Queretaro, ENP Alger)
- avec une approche par « simulation continue de champs de pluie »
- en Opérationnel : avec future version « stable » de l'outil

Pour en savoir plus :

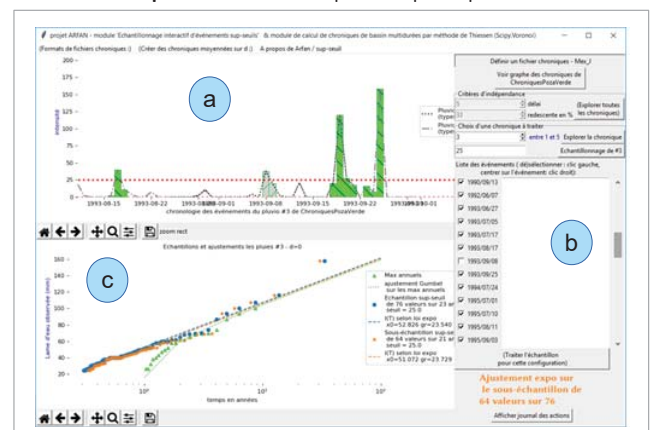
- [1] Poulard C. et al (2018) : Analyse critique de la notion d'événement représentatif d'une période de retour utilisée en ingénierie : note technique et diaporama (Conv. Multirisques)  
[2] Poulard, C. et al. (2017) Gérer des inondations par des ouvrages dispersés sur le bassin versant : principes et méthodes de diagnostic d'efficacité probabiliste, N°23, SET ( DOI : 10.14758/SET-REVUE.2017.23.07)

(travaux soutenus par le Min. chargé de l'Environnement, DGPR/SRNH/BRIL, Convention MultiRisques)

### 1. Panorama de méthodes de construction de « pluies de projet » [1]



### 2. Calcul d'une pluie « de bassin » à partir de pluies ponctuelles



## **Guide Cerema pour l'« Analyse de risque des ponts en site affouillable »**

### **Auteurs :**

Denis DAVI – Cerema Méditerranée  
José-Luis DELGADO – Cerema Méditerranée  
Christophe LAROCHE – Cerema Méditerranée  
Pierre CORFDIR – Cerema Infrastructures de transports et matériaux  
Laurent LLOP – Cerema Infrastructures de transports et matériaux

### **Contact :**

Denis DAVI  
Cerema Méditerranée/DCEDI/DOA  
Pôle d'activités – CS 70499, 13 593 Aix-en-Provence Cedex 3  
mèl : [denis.davi@cerema.fr](mailto:denis.davi@cerema.fr)  
tel : 04 42 24 76 81 ou 04 67 20 95 83

### **Mots clés :**

Affouillement, ponts, analyse simplifiée de risque, priorisation, changement climatique

### **Résumé :**

La démarche générale d'analyse des risques engagée par le Cerema sur plusieurs familles d'ouvrages se décline en guides d'application spécifiques, tous construits sur la base d'une même méthode simplifiée reposant sur l'évaluation et le croisement de l'aléa, de la robustesse de l'ouvrage et de l'importance des enjeux. Il s'agit in fine de classer les ouvrages en classes de risques, permettant au gestionnaire d'identifier et de hiérarchiser son patrimoine, en lui proposant une aide sur la gestion du risque.

L'affouillement est un phénomène courant qui peut toucher l'ensemble des ouvrages hydrauliques, avec plus ou moins d'intensité selon la morphologie du cours d'eau et le type d'ouvrage. Le phénomène d'affouillement est largement amplifié en période de crue, notamment du fait de l'augmentation de la vitesse de l'eau. Ces phénomènes peuvent mettre à nu les fondations des ouvrages et finir par les déstabiliser, voire les faire s'effondrer. L'origine aquatique et la localisation subaquatique du phénomène le rendent difficilement décelable. C'est pourquoi le développement d'une méthodologie d'analyse des risques pour ces ouvrages est apparu nécessaire.

L'objectif de la démarche développée dans le guide Cerema consiste à identifier les facteurs de risque à l'origine de l'affouillement des ponts, à développer une méthodologie d'analyse de risque, et à recenser les solutions qui peuvent être mises en œuvre pour prolonger leur durée de vie. Dans cette démarche, la caractérisation de l'aléa repose principalement sur des données concernant le cours d'eau au voisinage de l'ouvrage étudié : régime hydraulique, géométrie et évolution du lit, nature des matériaux du fond de lit... La vulnérabilité de l'ouvrage prend principalement en compte des données relatives aux appuis et aux fondations ; tandis que les conséquences de la ruine de l'ouvrage sont établies en grande partie en fonction de sa taille et du trafic porté, ainsi que de son rôle stratégique en situation de crise (accès à une zone sinistrée, secours aux victimes...). Compte tenu du nombre potentiellement très important de ponts à traiter à l'échelle d'un territoire étendu, l'approche proposée pour l'analyse du risque affouillement se déroule en plusieurs phases successives permettant une sélection toujours affinée.

La méthode, qui prend également en compte les effets attendus du changement climatique sur le régime d'écoulement des cours d'eau, a notamment été appliquée aux ponts du réseau structurant de l'Île de France dans l'objectif de pouvoir discerner dans ce patrimoine particulièrement stratégique, les ouvrages robustes de ceux qui sont plus vulnérables dans la perspective d'un plan de gestion de trafic fiable en période de crue et d'une proposition d'investissements pertinents de remise à niveau.



# Ponts en site affouillable

Un nouveau guide dédié à l'analyse de risque appliquée aux ouvrages d'art

Denis DAVI  
denis.davi@cerema.fr  
José-Luis DELGADO, Christophe LAROCHE,  
Pierre CORFDIR, Laurent LLOP

Centre d'études et d'expertise sur les risques,  
l'environnement, la mobilité et  
l'aménagement



## Problématique opérationnelle, question posée :

L'affouillement est un phénomène parfois difficilement décelable, qui peut aggraver les fondations des ponts lors des crues violentes. Le développement d'une méthodologie est donc apparu nécessaire pour permettre aux gestionnaires de mieux appréhender ce risque.

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

La méthode d'analyse des risques retenue, assez classique, repose sur l'évaluation de l'aléa (fonction notamment du régime hydraulique et de la nature des matériaux du lit), de la robustesse de l'ouvrage (sensibilité des fondations), et de l'importance des enjeux. Il est proposé plusieurs niveaux d'analyses adaptés au nombre et à la qualité des données disponibles, qui structurent le guide en chapitres les développant.



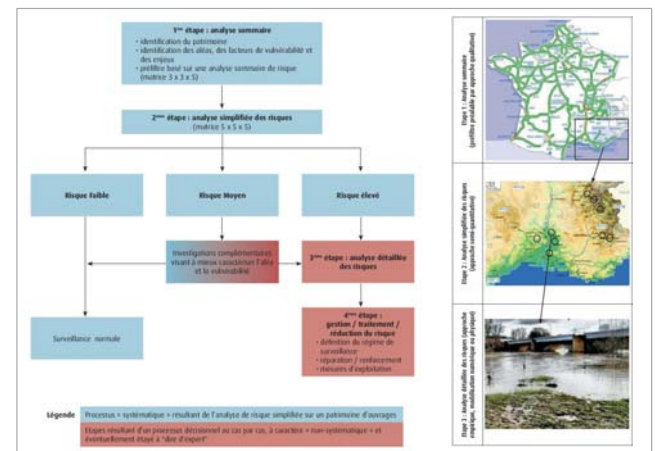
Exemples d'effondrements de ponts dus à l'affouillement des fondations :  
À gauche : le pont sur la rivière à la Réunion en 2007 (Source : Cerema)  
À droite : le pont Wilson à Tours en 1978 (Source : la Nouvelle République)

## Résultats

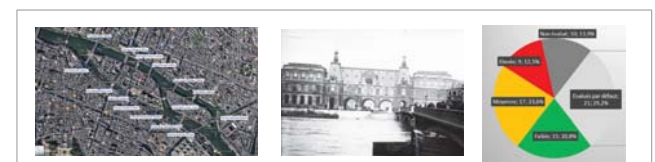
Compte tenu du nombre très important de ponts à traiter à l'échelle d'un territoire étendu, l'approche proposée pour l'analyse du risque se déroule en plusieurs phases successives permettant une sélection toujours affinée, depuis l'identification des facteurs de risque à l'origine de l'affouillement des ponts jusqu'au recensement des solutions pouvant être mises en œuvre pour prolonger leur durée de vie. La méthode intègre également les effets attendus du changement climatique sur le régime des cours d'eau.

## Applications

La démarche a déjà été appliquée aux ponts du réseau structurant d'Ile de France dans la perspective d'un plan de gestion de trafic fiable en période de crue et d'une proposition d'investissements pertinents de remise à niveau des ponts les plus vulnérables. Elle sera prochainement déclinée sur le réseau autoroutier Vinci-ASF dans le Sud de la France.



Processus de gestion du risque résultant de l'enchaînement des différentes phases successives correspondant à un raffinement croissant de l'analyse (Source : Cerema)



### Pour en savoir plus :

Cerema. Analyse de risque des ponts en site affouillable  
Février 2019  
Cerema, 2019. Collection : Références. ISBN : 978-2-37180-350-3



# Premiers développements d'une cartographie des zones ruisselantes sur bassins karstiques

Jean-Baptiste Charlier<sup>1,\*</sup>, Stéphanie Pinson<sup>2</sup>, Didier Narbais<sup>3</sup>

<sup>1</sup> BRGM, Univ. Montpellier, Montpellier.

<sup>2</sup> BRGM, F-45060 Orléans, France

<sup>3</sup> SCHAPI, 42, avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 01

\*Correspondance : [j.charlier@brgm.fr](mailto:j.charlier@brgm.fr)

Les bassins à composantes karstiques posent des difficultés de modélisation hydrologique aux prévisionnistes, de par leur fonctionnement hétérogène et la présence d'échanges surface-souterrain lors des crues. A titre d'exemple, les bassins possédant un exutoire karstique ne sont pas éligibles au service automatique d'avertissement pour les crues rapides Vigicrues Flash (<https://apic.meteo.fr/> ; SCHAPI). Ainsi, une meilleure évaluation des zones karstiques contributives au ruissellement permettrait de mieux discriminer la sélection des tronçons potentiellement impactés, afin d'adapter les approches de modélisation. Il est alors primordial de localiser précisément les zones karstiques susceptibles de contribuer aux crues, que ce soit par une infiltration prépondérante ou par la contribution au ruissellement suite à la mise en charge de l'aquifère.

L'objectif de travaux initiés depuis 2017 est de mettre en œuvre une cartographie des zones ruisselantes sur les bassins karstiques en combinant les données spatiales issues des cartes géologiques harmonisées au 1/50000 et l'indicateur géomorphologique spatialisé IDPR (Indice De Persistance des Réseaux, BRGM©). L'IDPR présente une métrologie de l'écart constaté entre le réseau de talweg et le réseau naturel et est calculé à l'échelle de la France au pas de 50 m à partir du MNT (BD ALTI V2, IGN©) et du réseau hydrographique de la BD TOPO (IGN©). Il permet de faire ressortir les zones à faible réseau hydrographique (zones d'infiltration forte) et celles où le ruissellement est important (réseau hydrographique dense).

L'hypothèse de travail est que les zones karstiques sont globalement des zones infiltrantes qui peuvent contribuer de manière temporaire aux crues lorsque l'aquifère est saturé. La première étape de ce travail est de calculer une grille IDPR selon 2 configurations du réseau hydrographique : en considérant le réseau pérenne uniquement (IDPR\_P) et en considérant le réseau pérenne et intermittent (IDPR\_PI). Le rapport des 2 grilles permet de délimiter l'extension des zones infiltrantes qui contribuent au ruissellement temporairement, et donc lors des crues. Cette cartographie est croisée dans une seconde étape avec la cartographie des zones karstiques (issue des données géologiques) afin d'évaluer les correspondances entre les deux.

Les premiers résultats de cette approche obtenus à l'échelle de bassins versants en zone méditerranéenne sont prometteurs et permettent de discriminer les zones karstiques potentiellement contributives aux crues. Les perspectives de ce travail sont d'établir une cartographie à plus large échelle afin de couvrir à terme le territoire national.

# Premiers développements d'une cartographie des zones ruisselantes sur bassins karstiques

## Spatialisation d'indicateur de ruissellement en contexte méditerranéen

J.-B. Charlier<sup>1</sup>, S. Pinson<sup>2</sup>  
D. Narbaïs<sup>3</sup>  
j.charlier@brgm.fr

<sup>1</sup> BRGM, Univ. Montpellier, Montpellier  
<sup>2</sup> BRGM, F-45060 Orléans, France  
<sup>3</sup> SCHAPI, 42 av. Gaspard Coriolis, 31057  
Toulouse Cedex 1



**Problématique opérationnelle, question posée :** Les bassins karstiques posent des difficultés de modélisation hydrologique aux prévisionnistes. Le besoin porte sur la localisation des zones karstiques susceptibles de contribuer aux crues, afin d'adapter les approches de modélisation

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Cartographier les zones ruisselantes sur bassins karstiques en combinant les données spatiales :

- cartes géologiques au 1/50 000 et découpage des zones karstiques (qualification du degré de karstification)
- indicateur géomorphologique spatialisé IDPR (Indice De Persistance des Réseaux, BRGM©) qui renseigne sur le caractère infiltrant/ruisselant des terrains (Fig. 1)

Trois grilles IDPR sont calculées en considérant :

- le réseau permanent (IDPR\_P – Fig. 2b)
- les réseaux permanent et intermittent (IDPR\_PI – Fig. 2c)
- le ratio des 2 grilles IDPR\_P / IDPR\_PI (Fig. 2d) permet de délimiter l'extension des zones infiltrantes qui contribuent au ruissellement temporairement, c.à.d. aux crues

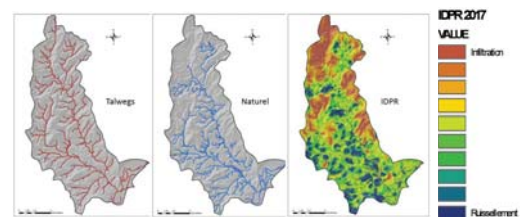


Fig. 1 - Réseau de talwegs, réseau hydrographique naturel, et IDPR correspondant (mesure de l'écart entre le réseau théorique « talwegs » et le réseau naturel « hydrographie »)

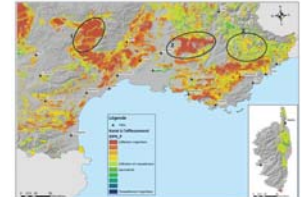
### Résultats

- Zones karstiques globalement plus infiltrantes avec une capacité de ruissellement temporaire plus importante
- Méthode permet de différencier les unités karstiques en lien avec la lithologie : caractère infiltrant plus marqué pour les zones à degré de karstification plus élevé (Fig. 3)
- Effet d'échelle : application à l'échelle du bassin nécessite l'intégration de données terrain sur le régime des écoulements (permanent/intermittent)

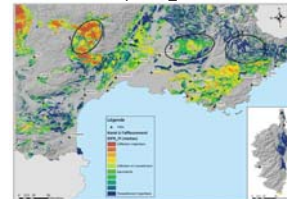
a) Croisement de la géologie et des grilles IPDR



b) IDPR\_P



c) IDPR\_PI



d) IDPR\_P / IDPR\_PI

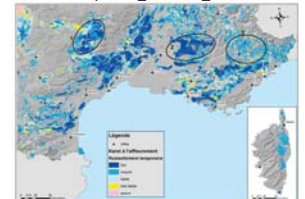


Fig. 2 – Application à l'échelle du pourtour méditerranéen – (1) Grands Causses, (2) Monts du Vaucluse, (3) Verdon

### Applications

- À l'échelle régionale -> pourtour méditerranéen (Fig. 2)
- À l'échelle du bassin -> ex. de la Cèze (Fig. 3)
- => Réflexions pour une extension à une échelle nationale

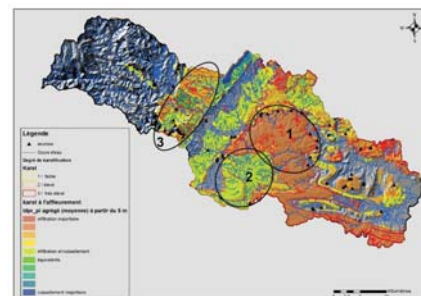


Fig. 3 – Application à l'échelle du bassin de la Cèze (30) ; (1) Calcaires Crétacé (urgonien), (2) calcaires marneux Crétacé, (3) unités calcaires et Marneuses Jurassique de petite dimension

### Pour en savoir plus :

Pinson S., et Charlier J.-B. (2018) – Cartographie du ruissellement des zones karstiques - application au pourtour Méditerranéen. Rapport final. BRGM/RP-68563-FR, <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-68563-FR.pdf>.

## Titre : **Evaluation du risque « coulée d'eaux boueuses » et mise en place d'une stratégie de prévention et de gestion par l'Eurométropole de Strasbourg**

Auteurs :

L. GRABENSTAETTER, géologue risque du BRGM Grand Est – Délégation de Strasbourg, Parc Activités Porte Sud, Rue Pont du Péage – 67118 GEISPOLSHHEIM, tél 03 88 77 48 92. [l.grabenstaetter@brgm.fr](mailto:l.grabenstaetter@brgm.fr)

R. VANDROMME, ingénieure en mécanique des sols du BRGM Direction Risques et Prévention, 3, avenue Claude Guillemin – 45060 ORLEANS LA SOURCE, tél 03 38 64 34 82. [r.vandromme@brgm.fr](mailto:r.vandromme@brgm.fr)

V. LANDEMAINE, ingénieur en mécanique des sols du BRGM Direction Risques et Prévention, 3, avenue Claude Guillemin – 45060 ORLEANS LA SOURCE, tél 03 38 64 30 82. [v.landemaine@brgm.fr](mailto:v.landemaine@brgm.fr)

K. SAMYN, directeur régional délégué Grand Est – Site de Strasbourg Parc Activités Porte Sud, Rue Pont du Péage – 67118 GEISPOLSHHEIM, tél 03 88 77 48 90. [k.samyn@brgm.fr](mailto:k.samyn@brgm.fr)

R. GENTNER, ingénieur chargé des opérations de restauration des cours d'eau et milieu humides à l'Eurométropole de Strasbourg - 1, Parc de l'Etoile – 67076 STRASBOURG, tél 03 68 92 50 00. [remy.gentner@strasbourg.eu](mailto:remy.gentner@strasbourg.eu)

L. SIRY, Chef de service Prévention et Enjeux Environnementaux à l'Eurométropole de Strasbourg - 1, Parc de l'Etoile – 67076 STRASBOURG, tél 03 68 92 50 00. [laurent.siry@strasbourg.eu](mailto:laurent.siry@strasbourg.eu)

Résumé :

Plusieurs communes situées au NW de Strasbourg ont, ces dernières années, été affectées par des coulées d'eaux boueuses, liées à des précipitations intenses. La texture limoneuse des sols, combinée à une agriculture de type openfield suite à la suppression des haies rendent les paysages très sensibles au ruissellement et à l'érosion des sols et ainsi aux coulées d'eaux boueuses.

Le ruissellement désigne le phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols. Ce phénomène se produit lorsque l'intensité des précipitations dépasse les vitesses d'infiltration et/ou la capacité de rétention des sols.

L'érosion des sols étant directement liée à l'intensité des précipitations, une augmentation de ce phénomène est donc à prévoir en contexte de changement climatique. Il touchera de façon préférentielle les terrains en partie dénudés et vallonnés qui favorisent la concentration du ruissellement.

Dans ce contexte, l'Eurométropole de Strasbourg a émis le souhait de voir réaliser un projet de recherche et développement en partenariat avec le BRGM pour définir les programmes d'action pour la lutte contre les coulées d'eaux boueuses et les coûts associés sur les 14 communes (96 bassins versants élémentaires) de son territoire, concernées par ce risque.

Les volumes d'eau ruisselés et les masses de terre érodées ont été quantifiés à partir du modèle WATERSED pour différentes périodes de retour (décennale, trentennale et cinquantennale) et sur la période de l'année la plus pénalisante en termes d'occupation des sols.

La qualification des zones de départ, de circulation et de dépôts des sédiments a été réalisé en tenant compte de la topographie, de la nature et de l'occupation des sols. L'aléa a été évalué sur la base des volumes de terres circulant en chaque point de la zone d'étude. Les chemins de l'eau ainsi que les traces de départ et de dépôt d'érosion ont été cartographiés à partir d'observations de terrain.

L'installation d'ouvrages d'hydrauliques douces (fascines, bandes enherbées...) a été proposée et l'impact de ces ouvrages a été modélisé. Une hiérarchisation de l'ensemble des 96 bassins versant à traiter a été proposée et les coûts d'installation et d'entretien ont été estimés pour chaque bassin versant « élémentaires ».

Un programme pluriannuel de gestion du risque est en cours de discussion afin de réaliser des modélisations itératives sur la base des assolements réels annuels et des nouveaux aménagements mis en place, de manière à affiner la hiérarchisation des zones à traiter et d'aiguiller les investissements vers les zones les plus « à risque ».

# Prévention et gestion du risque lié aux coulées d'eaux boueuses

## Evaluation du risque et mise en place d'une stratégie de gestion

L. Grabenstaetter – [lgrabenstaetter@brgm.fr](mailto:lgrabenstaetter@brgm.fr)  
 R. Vandromme – [r.vandromme@brgm.fr](mailto:r.vandromme@brgm.fr)  
 V. Landemaine – [v.landemaine@brgm.fr](mailto:v.landemaine@brgm.fr)  
 K. Samyn – [k.samyn@brgm.fr](mailto:k.samyn@brgm.fr)  
 R. Gentner – [remy.gentner@strasbour.eu](mailto:remy.gentner@strasbour.eu)  
 L. Siry – [laurent.siry@strasbourg.eu](mailto:laurent.siry@strasbourg.eu)

**BRGM**  
 Bureau de Recherches Géologiques et Minières  
**EMS**  
 Eurométropole de Strasbourg



### Problématique opérationnelle, question posée :

Plusieurs zones urbaines de l'EMS sont régulièrement affectées par des coulées d'eaux boueuses liées à des précipitations intenses et à une agriculture de type openfield.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Dans le contexte de changement climatique qui va entraîner une augmentation des coulées d'eaux boueuses, l'EMS, dans le cadre de l'acquisition de la compétence « coulées d'eaux boueuses » souhaite mettre en œuvre un programme d'actions sur les 14 communes concernées (96 bassins versants unitaires). Les volumes d'eau ruisselés et les masses de terre érodées ont été quantifiés à partir du modèle WATERSED (Landemaine, 2016) pour différents événements pluvieux et sur la période de l'année la plus pénalisante en termes d'occupation des sols.

### Résultats

La qualification des zones de départ, de circulation et de dépôts des sédiments a été réalisée en tenant compte de la topographie, de la nature et de l'occupation des sols et a débouché sur la réalisation d'une carte d'aléa.

L'installation d'ouvrages d'hydrauliques douces (fascines, bandes enherbées...) a été proposée sur la base d'un croisement entre zone d'aléa et enjeux. L'impact de ces ouvrages a été modélisé.

Une hiérarchisation de l'ensemble des 96 bassins versant à traiter a été proposée et les coûts d'installation et d'entretien ont été estimés pour chaque bassin versant « unitaire ».

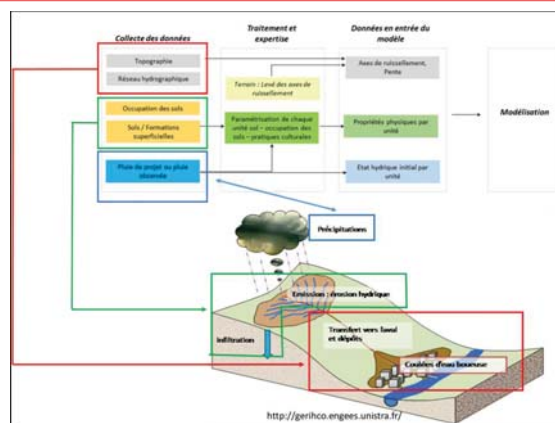
### Applications

L'EMS a engagé des actions afin d'installer les premiers ouvrages d'hydrauliques douces au printemps 2019, avant les premiers épisodes pluvieux susceptibles de donner naissance à des coulées d'eaux boueuses.

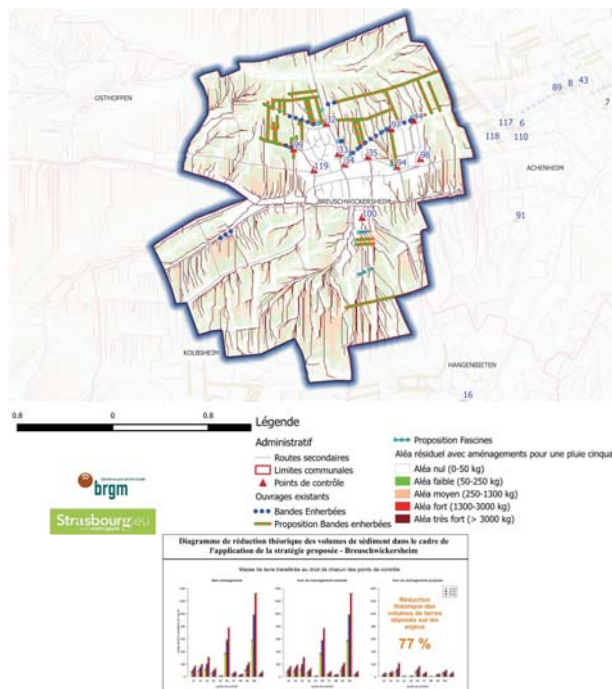
Afin de prioriser les actions à mettre en œuvre au fur et à mesure du déploiement de la stratégie de gestion élaborée, des modélisations vont être réalisées annuellement afin d'identifier, en fonction de l'occupation prévisionnelle des sols et des contraintes de mise en œuvre, les bassins versants nécessitant la mise en place d'ouvrages de protection.

Pour en savoir plus :

BRGM : [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)  
 EMS : [www.strasbourg.eu](http://www.strasbourg.eu)



Représentation schématique de la méthodologie utilisée - © BRGM / Gerihco



Cartographie de l'aléa et des aménagements modélisés à l'échelle d'une commune de l'Eurométropole de Strasbourg et quantification de l'efficacité théorique - © BRGM



# PRÉVISION D'ENSEMBLE DES CRUES RAPIDES MÉDITERRANÉENNES À TRÈS COURTE ÉCHÉANCE

Auteurs : Alexane LOVAT <sup>(1)</sup>, Béatrice VINCENDON <sup>(2)</sup>, Véronique DUCROCQ <sup>(1)</sup>, Philippe CAU <sup>(3)</sup>, Judith EECKMAN <sup>(1)</sup>, Céline JAUFFRET <sup>(3)</sup>, Nicolas MERLET <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> CNRM (Météo France, CNRS), 42 av. G. Coriolis, 31057 Toulouse cedex 1, France

<sup>(2)</sup> Météo France (Direction de la Climatologie et des Services Climatiques), 42 av. G. Coriolis, 31057 Toulouse cedex 1, France

<sup>(3)</sup> Météo France (Direction des Opérations pour la Prévision), 42 av. G. Coriolis, 31057 Toulouse cedex 1, France

Contact pour les ANRN 2019 :

Béatrice VINCENDON (Météo-France DCSC/AVH) [beatrice.vincendon@meteo.fr](mailto:beatrice.vincendon@meteo.fr) 05-61-07-83-71

## Résumé :

Les bassins versants méditerranéens subissent régulièrement des crues rapides et dévastatrices, générées par des épisodes de précipitations intenses. Des cumuls importants de pluies peuvent affecter en quelques heures des bassins à la topographie accidentée et des sols de faible profondeur. Les rivières peuvent alors voir leur niveau monter en quelques heures et des phénomènes de ruissellement peuvent aggraver les inondations induites. En situation de crise, les services de secours disposent donc d'un délai très court pour leurs interventions. En particulier, disposer d'une prévision aux échéances dites de prévision immédiate, à savoir dans les 6h à venir, peut être décisif.

Pour ces échéances, des techniques d'extrapolation de lames d'eau radar ont été développées par le passé. La qualité des lames d'eau prévues par ces méthodes décroît cependant rapidement avec les échéances de prévision. Au delà d'une heure, elles sont difficilement exploitables pour la prévision des crues. Depuis mars 2016, Météo-France utilise pour ces échéances, une chaîne de prévision numérique, basée sur le modèle météorologique AROME. Ce système, AROME-PI, assimile les dernières observations disponibles toutes les heures et réalise une prévision jusque 6h d'échéance toutes les heures. Ainsi, pour la prévision à une heure donnée, plusieurs scénarii de pluie sont disponibles de façon opérationnelle pour les prévisionnistes météorologues. Pour des échéances de l'ordre de 3h, des produits de fusion entre lame d'eau radars extrapolées et champs de prévision de pluies avec AROME-PI sont utilisés opérationnellement à Météo-France depuis mai 2018.

L'objectif du travail en cours dans le cadre d'un doctorat est d'évaluer une prévision d'ensemble des crues basée sur ces prévisions de pluies en entrée d'un modèle dédié à la simulation hydrologique des crues rapides sur des bassins versants méditerranéens français. A termes, ce type de prévision d'ensemble hydro-météorologique pourra être utilisée par des prévisionnistes hydrologues.

# Prévision des crues rapides méditerranéennes

## Prévision d'ensemble à très courte échéance

Alexane LOVAT<sup>(1)</sup>, Béatrice VINCENDON<sup>(2)</sup>,  
Véronique DUCROCQ<sup>(1)</sup>, Philippe CAU<sup>(3)</sup>,  
Judith EECKMAN<sup>(1)</sup>, Céline JAUFFRET<sup>(3)</sup>,  
Nicolas MERLET<sup>(3)</sup>  
beatrice.vincendon@meteo.fr

<sup>(1)</sup> CNRM (Météo France, CNRS)  
<sup>(2)</sup> Météo France (Direction de la Climatologie et des Services Climatiques)  
<sup>(3)</sup> Météo France (Direction des Opérations pour la Prévision)  
42 av. G. Coriolis, 31057 Toulouse cedex 1, France



### Problématique opérationnelle, question posée :

Les régions méditerranéennes subissent régulièrement des crues rapides et dévastatrices, générées par d'intenses précipitations. En situation de crise, les services de secours disposent d'un délai très court pour leurs interventions. Prévoir dans les 6 h à venir les pluies et crues associées est crucial.

### Problématiques de recherche - méthodes – objectifs

Différents produits opérationnels de prévisions de pluies à très courte échéance (prévision immédiate) à Météo-France :

- Au delà de 3 à 4 h d'échéances, modèle météorologique AROME appliqué à la France, AROME-FRANCE, et sa version probabiliste, la prévision d'ensemble PEARO.
- Jusqu'à 6 h d'échéance, chaîne AROME-PI de prévision numérique basée sur AROME, assimilant toutes les heures les dernières observations disponibles. A une échéance donnée, plusieurs scenarii de pluie à disposition des prévisionnistes météorologues.
- Pour des échéances de moins de 3 h, produit PIAF de fusion entre lame d'eau radars extrapolées et champs de prévision de pluies issus d'AROME-PI.

Objectif du travail : évaluer une prévision d'ensemble des crues basée sur ces prévisions immédiates de pluies en entrée d'un modèle de simulation hydrologique dédié aux crues rapides sur des bassins versants méditerranéens français.

### Résultats

Performance des systèmes de prévision immédiate évaluée du point de vue hydrologique en moyennant sur les bassins versants les pluies cumulées sur 15 minutes ou 1 heure. Utilisation d'observations comme référence (cf. Figure 1)

Croissance des erreurs avec l'échéance pour tous les systèmes de prévision. (cf. Figures 2 et 3)

Surestimation des pluies horaires de plus de 10 mm.

Selon les scores obtenus, recommandation d'utiliser :

- PIAF pour les échéances 15' à 1h30
- AROME-PI pour les échéances au-delà de 2 h
- AROME-FRANCE pour les échéances au delà de 4 h.

### Applications

A terme, ce type de prévision d'ensemble hydro-météorologique pourra être utilisé par des prévisionnistes hydrologues pour des horizons de prévisions de 15 minutes à 6 h.

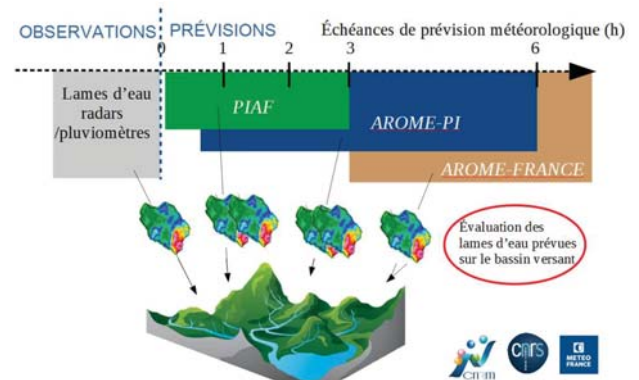


Figure 1 : Lames d'eau disponibles en fonction des échéances. (A. Lovat)

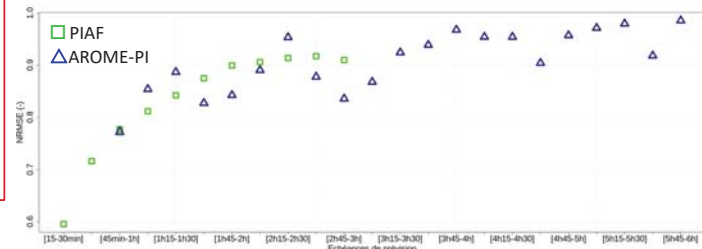


Figure 2 : Performance\* des prévisions par rapport aux observations pour les pluies moyennées sur les bassins cumulées sur 15' (A. Lovat)

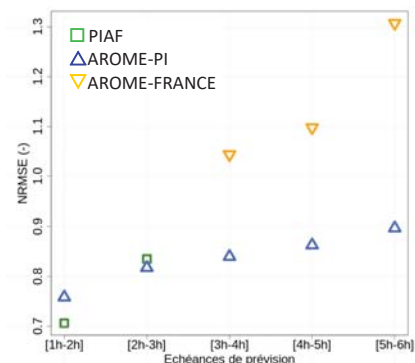


Figure 3 : Performance\* des prévisions par rapport aux observations pour les pluies moyennées sur les bassins cumulées sur 1h (A. Lovat)

\* Le score de performance (NRMSE) est un écart quadratique moyen entre prévisions et observations normé par l'écart-type des observations des pluies moyennées sur les bassins pour tous les cas et tous les bassins. Plus il est faible meilleure est la performance.

## **Projet AD-VITAM : Analyse de la vulnérabilité des territoires alpins méditerranéens aux risques naturels (mouvements de terrain)**

N. Marçot<sup>1</sup>, S. Bernardie<sup>2</sup>, M. Amitrano<sup>1</sup>, Y. Drouillas<sup>3</sup>, T. Lebourg<sup>4</sup>

<sup>1</sup> BRGM Direction Régionale PACA, Marseille

<sup>2</sup> BRGM Direction Risques Prévention, Orléans

<sup>3</sup> GEOAZUR, Nice Sophia Antipolis

<sup>4</sup> ESPACE-GEOAZUR, Nice Sophia Antipolis

Contact : Marçot Nathalie [n.marcot@brgm.fr](mailto:n.marcot@brgm.fr)

---

Le BRGM est partenaire du projet AD-VITAM, financé par le programme européen ALCOTRA, et coordonné par le laboratoire GÉOAZUR, aux côtés de partenaires Italiens (ARPAL, Région Piémont, Fondation Montagne Sûre, Université de Gênes et Communauté de communes Val d'Ormea, d'Argentina et de Mendatica).

L'objectif est d'améliorer la résilience des territoires par rapport aux glissements de terrain, à travers le développement de systèmes opérationnels innovants, basés sur la donnée pluviométrique, paramètre physique déterminant dans les processus d'instabilités. Les activités prévues impliquent l'évaluation des relations pluie-glisserment par l'étude des événements historiques, la réalisation d'un inventaire des événements sur le territoire ALCOTRA franco-italien, le développement de différents modèles de prévision, la définition de seuils pour le déclenchement des glissements de terrain, et la production de cartes dynamiques de risque et de vulnérabilité, outil fondamental pour la gestion opérationnelle.

Les résultats sont surtout destinés aux gestionnaires locaux, confrontés à la gestion du risque glissement de terrain, et qui trouveront immédiatement des applications dans tout l'espace ALCOTRA, ils seront diffusés sur Internet pour une information grand public.

L'objectif majeur du projet est la prise en compte effective des variations pluviométriques aussi bien en termes de bilan que de prévision (projection climatique) dans des modèles de calculs des aléas glissement de terrain, phénomène émergent peu étudié contrairement aux chutes de blocs (projet MASSA). Le bilan historique permettra de réaliser un inventaire et une restitution des liens de causes à effet sur les territoires en termes d'impact et de résilience des communautés face aux risques spécifiques de montagne, mais aussi de zone typique du pourtour méditerranéen.

L'avancement du projet aujourd'hui nous a permis la mise en évidence d'un seuil de déclenchement de glissement de terrain à l'échelle du département des Alpes-Maritimes à partir des chroniques d'événements et de pluie (Météo France). La collaboration franco-italienne a permis l'installation de matériel de mesure de type GPS cinématiques, sondes physico-chimiques et piézométriques, et humidimètres sur 3 sites franco-italiens (Alpes-Maritimes et Ligurie). Les premières modélisations ont été réalisées afin de comprendre spatialement et temporellement le rôle des pluies dans le déclenchement des glissements de terrain sur les communes françaises de Menton, Vence et italiennes Ceriana. L'un des objectifs étant de caler sur ces sites les paramètres à niveau d'eau constant pour ensuite évaluer rétroactivement les conséquences des pluies de janvier et novembre 2014 à partir des données mosaïques météo du radar Novimet® et ainsi proposer des cartographies d'aléa dynamiques des versants.



# Projet AD-VITAM

## Vulnérabilité des territoires alpins méditerranéens aux risques naturels

N. Marçot<sup>1</sup>, S. Bernardie<sup>2</sup>, M. Amitrano<sup>1</sup>,  
Y. Drouillas<sup>3</sup>, T. Lebourg<sup>3</sup>  
[n.marçot@brgm.fr](mailto:n.marçot@brgm.fr)

<sup>1</sup>BRGM Direction Régionale PACA  
<sup>2</sup>BRGM, Direction Risques et Prévention  
<sup>3</sup>Université de Nice Sophia Antipolis, CNRS,  
Géoazur UMR 6526



Améliorer la **résilience des territoires alpins méditerranéens** par rapport aux **risques naturels** (glissements de terrain) à travers le développement de **systèmes opérationnels innovants** pour la **prévention**, la **prévision** et **l'alerte**, basés sur la fréquence des **précipitations**.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

- évaluation des **relations pluie-niveaux de nappes-glisement** à l'échelle du département des Alpes-Maritimes à partir des événements historiques et d'épisodes de pluies intenses, et sur 3 sites pilotes français et Italiens instrumentés ;
- réalisation d'un **inventaire des événements** franco-italien ;
- développement de différents **modèles de prévision** ;
- définition de **seuils pour le déclenchement des glissements** ;
- production de **cartes dynamiques** à partir **des données radars** du Mont Vial ®Novimet.

### Résultats

Les résultats sont destinés aux **gestionnaires locaux et territoriaux**, confrontés à la gestion du risque glissement de terrain. Les premiers résultats concernent entre autres :

- La mise en évidence d'un **seuil de déclenchement de glissement de terrain** à l'échelle du département des Alpes-Maritimes à partir des chroniques d'événements et de pluie ;
- L'installation de **matériel de mesure de type GPS** cinématiques, sondes physico-chimiques et piézométriques, et humidimètres sur 3 sites franco-italiens (Alpes-Maritimes et Ligurie).

### Applications

Prise en compte effective des **variations pluviométriques** aussi bien en termes de **bilan** que de **prévision** (projection climatique) dans des **modèles de calculs des aléas glissement de terrain**. Le bilan historique permet de réaliser un inventaire et une restitution des **liens de causes à effet sur les territoires en termes d'impact et de résilience** des communautés face aux risques spécifiques de montagne, mais aussi de zone typique du pourtour méditerranéen.

#### Pour en savoir plus :

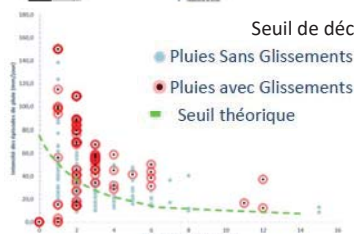
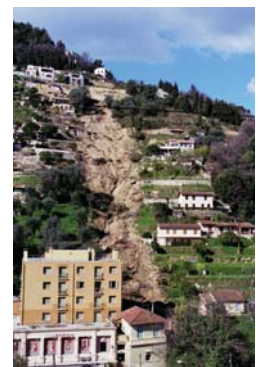
Projet AD-VITAM programme ALCOTRA démarré en juin 2017 pour 3 ans (mi 2017 - mi 2020)  
Site internet : <http://www.advit.am>



Glissements de terrain sur les Alpes-Maritimes (France) et en Ligurie (Italie) ©BRGM

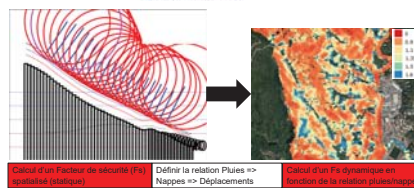


Carte des événements glissements de Terrain à l'échelle du territoire ALCOTRA ©Amitrano

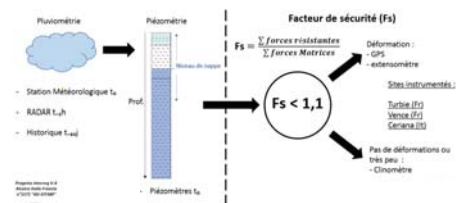


Seuil de déclenchement de glissements de terrain sur les Alpes-Maritimes ©Amitrano

Installation GPS Low cost sur 3 sites ©Vidal



Evaluation d'un facteur de sécurité ©Drouillas



Relation pluie/nappe/déformation ©Drouillas

---

## Assises nationales des risques naturels 25 et 26 mars 2019 à Montpellier

Titre du poster :

### **Réduire la vulnérabilité des exploitations agricoles aux inondations**

Une démarche opérationnelle dans le cadre du Plan Rhône

Auteur à contacter pour toute communication relative aux Assises :

Elsa LAGANIER –DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, Service Bassin Rhône Méditerranée et Plan Rhône / Pôle Plan Rhône

Chargée de mission Plan Rhône - Vulnérabilité agricole et communication  
Tel : 04 26 28 67 21

[elsa.laganier@developpement-durable.gouv.fr](mailto:elsa.laganier@developpement-durable.gouv.fr)

Résumé du poster :

Parmi les activités économiques riveraines du Rhône, l'activité agricole a représenté dès la naissance du Plan Rhône un enjeu prioritaire pour la réduction des dommages liés aux inondations. En effet, son implantation en lit majeur en fait l'enjeu le plus fréquemment touché par les débordements du fleuve. De plus, la forte valeur ajoutée des cultures de la vallée du Rhône (arboriculture, viticulture...) renforce sa vulnérabilité (1/3 des dommages totaux potentiels pour les crues fréquentes).

C'est pourquoi la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, pilote du volet Inondations du Plan Rhône, a engagé en 2008 une action pilote visant à réduire la vulnérabilité des exploitations agricoles aux inondations du Rhône, centrée initialement sur des secteurs ciblés de l'Ardèche, de la Drôme, du Vaucluse, des Bouches-du-Rhône et du Gard.

L'action vise à agir sur toutes les composantes de la vulnérabilité de l'exploitation, en partant d'un diagnostic de vulnérabilité qui permet de décliner un plan d'actions comprenant des mesures organisationnelles (plan d'urgence et de remise en route) aussi bien que structurelles (travaux).

Suite au recensement par les Chambres d'agriculture des exploitations impactées, un appel à projets a été initié par la DREAL. En parallèle, IRSTEA a mené de 2008 à 2010 le projet « Évaluation économique de la Vulnérabilité Agricole », afin de développer une méthode d'évaluation des dommages agricoles pour permettre l'évaluation des bénéfices attendus par la mise en place des mesures de réduction de la vulnérabilité.

Ces travaux ont permis la définition d'un catalogue de mesures et la mise en place dès 2011 d'un dispositif de financement très incitatif, permettant de subventionner les mesures de réduction de vulnérabilité jusqu'à 80 % du montant des travaux, avec la participation des partenaires du Plan Rhône.

Pour le diagnostic de vulnérabilité, le montage de leur projet et leur demande de subvention, les exploitants bénéficient également d'un appui technique et administratif des Chambres d'agriculture ; la forte implication de celles-ci est un levier majeur dans la réussite du dispositif.

Le bilan de cette démarche pilote est très largement positif, avec une réelle mobilisation des exploitants agricoles : plus de 300 agriculteurs ont réalisé un diagnostic de vulnérabilité et plus de 100 d'entre eux ont réalisé des travaux : sécurisation des matériels et stocks, zones de repli, adaptation des bâtiments et systèmes d'irrigation, etc.

Forts de ce succès, les partenaires du Plan Rhône ont reconduit ce dispositif en l'étendant à l'ensemble du linéaire de la Saône et du Rhône.

# Réduire la vulnérabilité des exploitations agricoles aux inondations

Une démarche opérationnelle dans le cadre du Plan Rhône

Elsa LAGANIER

elsa.laganier@developpement-durable.gouv.fr

DREAL Auvergne-Rhône-Alpes



Plan Rhône



## Problématique opérationnelle, question posée :

Comment réduire la vulnérabilité des exploitations agricoles riveraines du Rhône et de la Saône, une activité économique structurante pour le territoire, très fréquemment impactée et avec une vulnérabilité forte liée à la haute valeur ajoutée des productions.

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

**2008** - Recensement et typologie des exploitations agricoles - Appel à projets ciblé sur les territoires les plus exposés

**2009** - Sensibilisation - réalisation de guides de diagnostic - Projets de territoires portés par les Chambres d'Agriculture

**2010** - Projet EVA (Irstea) : méthode d'évaluation des dommages agricoles et analyse coûts-bénéfices (ACB) des mesures de réduction de vulnérabilité

**Objectifs** : réduire les dommages et les délais de retour à la normale

## Résultats

Définition d'un catalogue de mesures dont certaines éligibles à un financement de 80 % maximum, sous condition d'efficacité économique (ACB) :

- mesures organisationnelles (plan d'urgence et de remise en route)
- mesures structurelles, essentiellement sur les bâtiments (voir illustrations 1 et 3)

**Bilan** : 300 diagnostics, 100 exploitations ayant réalisé des travaux de réduction de vulnérabilité, pour un total de 7M€.

## Applications

Reproductibilité de l'action :

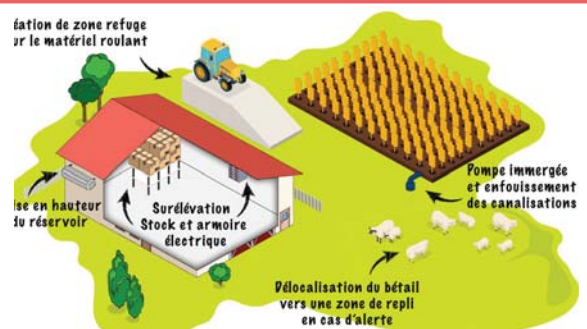
- nécessité de chercher des financements incitatifs (RV-PAPI)
- rôle de relais des Chambres d'Agriculture indispensable
- cibler l'action sur les secteurs inondés fréquemment avec dommages importants (bâtiments, matériel sur parcelle)

Pour en savoir plus :

[www.planrhone.fr](http://www.planrhone.fr)

Guides de diagnostics de vulnérabilité aux inondations par type d'exploitation

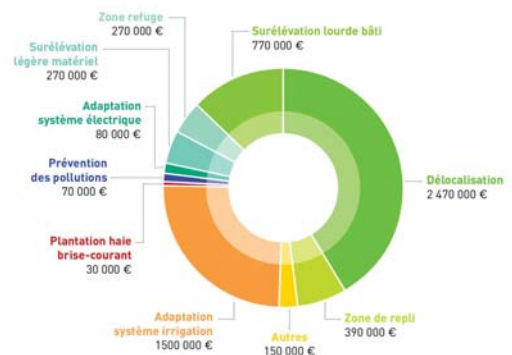
Plaquette et spots vidéos sur la démarche



1- Exemples de mesures réalisées – DREAL Auvergne-Rhône-Alpes



2- Sécurisation du matériel sur racks – DREAL Auvergne-Rhône-Alpes



3- Bilan des travaux par type de mesure – DREAL Auvergne-Rhône-Alpes

## Titre du poster :

**Résilience du Grand Port Maritime de Bordeaux face au changement climatique – Analyse des risques et stratégie d'adaptation**

## Liste des auteurs :

**Perrine Vermeersch** : Cerema Sud-Ouest - 24 rue Carton, CS41635, 33073 Bordeaux Cedex - perrine.vermeersch@cerema.fr

**Marie Colin** : Cerema Infrastructures de Transport et Matériaux- 110 rue de Paris 77171 Sourdun - marie.colin@cerema.fr

**Julie Filatreau et Julien Mas** : Grand Port Maritime de Bordeaux - 152 quai de Bacalan, CS41320, 33082 Bordeaux Cedex - J-Filatreau@bordeaux-port.fr - J-Mas@bordeaux-port.fr

## Résumé :

Faisant partie des engagements du Grenelle de l'Environnement, la lutte contre le changement climatique représente, pour ce début de siècle, l'un des objectifs principaux des politiques françaises. Via le volet de l'adaptation, elle vise à réduire la vulnérabilité, à renforcer la robustesse et la résilience de nos territoires pour anticiper les impacts climatiques de demain.

Pour répondre à l'enjeu majeur de l'adaptation, la France s'est dotée dès 2011 d'un document de planification unique en son genre, le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC). Ce plan vise à préparer les territoires métropolitain et d'Outre-Mer aux évolutions tendanciennes du climat et aux événements météorologiques extrêmes attendus avec le changement climatique, en s'appuyant sur différentes actions d'adaptation. **L'amélioration de la prévention des risques naturels et de la résilience des réseaux de transport est une action cruciale du PNACC**, car ces réseaux sont indispensables au bon fonctionnement des territoires.

Dans le cadre du PNACC, le Cerema a notamment développé une méthodologie d'analyse des risques encourus par les réseaux de transport. Elle a pour objectifs d'identifier les principaux événements climatiques qui peuvent impacter un réseau de transport, les vulnérabilités des infrastructures et des fonctionnalités (déplacements, mobilité, fonctionnalités spécifiques) de ce réseau face à ces différents événements et l'évolution de ces vulnérabilités dans ce contexte de changement climatique. Développée en s'appuyant sur des études appliquées à différents types d'infrastructures : routières, aéroportuaires, maritimes, etc., cette méthode est aujourd'hui applicable et ce, pour tous types de réseaux de transport.

**Pour la première fois en France, cette méthode est intégrée au sein d'une démarche plus large visant à développer une stratégie d'adaptation d'un port au changement climatique.** À la demande du **Grand Port Maritime de Bordeaux**, le Cerema a mené une analyse des risques encourus par les infrastructures et les fonctionnalités du port et développé une stratégie d'adaptation à moyen et long terme, en collaboration étroite avec plusieurs acteurs du port.

Cette méthodologie s'avère donc utile aux gestionnaires et exploitants à plusieurs titres :

- elle permet d'identifier les sections de réseaux de transport dont ils ont la charge, les plus à risques ou vulnérables ;
- elle peut servir d'appui pour identifier des solutions d'adaptation visant à réduire les risques identifiés et renforcer la résilience des infrastructures les plus vulnérables, et ainsi, maintenir au mieux les fonctionnalités d'un réseau et minimiser le coût des impacts à moyen terme.

# Résilience du Grand Port Maritime de Bordeaux face au changement climatique

## Analyse des risques et stratégie d'adaptation

Perrine VERMEERSCH <sup>(1)</sup>  
[perrine.vermeersch@cerema.fr](mailto:perrine.vermeersch@cerema.fr)

Marie COLIN <sup>(1)</sup>  
[marie.colin@cerema.fr](mailto:marie.colin@cerema.fr)

<sup>(1)</sup> Cerema

Julien MAS <sup>(2)</sup>  
[J-Mas@bordeaux-port.fr](mailto:J-Mas@bordeaux-port.fr)

Julie FILATREAU <sup>(2)</sup>  
[J-Filatreau@bordeaux-port.fr](mailto:J-Filatreau@bordeaux-port.fr)

<sup>(2)</sup> Grand Port Maritime de Bordeaux



Le climat menace les réseaux de transport. Sites sensibles, les sites portuaires verront augmenter la vulnérabilité de leurs infrastructures et fonctionnalités avec le changement climatique. Quelle stratégie d'adaptation pour anticiper et limiter les effets des perturbations de demain sur le port de Bordeaux ?

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

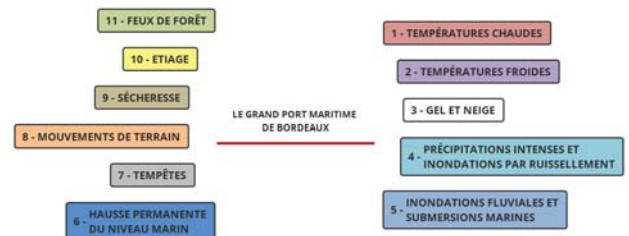
Le Cerema, dans le cadre du Plan National d'Adaptation au Changement Climatique, a développé une méthode d'analyse des expositions et vulnérabilités d'un réseau au climat actuel et futur tant pour ses infrastructures que ses fonctionnalités, avec pour objectif le développement d'une stratégie d'adaptation basée sur des solutions hiérarchisées.

### Résultats

- Constat d'une exposition actuelle multiple
- Projection des évolutions d'exposition, particulièrement marquée par une hausse des températures, une augmentation des périodes de sécheresse et d'étiage ou la hausse du niveau marin
- Caractérisation des vulnérabilités variées selon les événements climatiques pour 13 catégories d'infrastructures et 16 familles de fonctionnalités étudiées
- Évaluation des impacts sur les dépenses d'entretien, d'investissement et les revenus
- Identification et priorisation des solutions d'adaptation techniques, des stratégies de gestion et de gouvernance



Quai de Bordeaux (@ Terra)



Aléas climatiques analysés pour l'étude de l'exposition au changement climatique du port de Bordeaux - Cerema

### Applications

Cette méthode, également applicable à d'autres types de réseaux (route, rail...) s'avère utile aux gestionnaires et exploitants pour :

- Adapter et prioriser les solutions techniques de gestion, au regard des évolutions du climat à venir
- Garantir des niveaux de service satisfaisants
- Favoriser la résilience de son réseau, du territoire
- Optimiser les budgets à moyen terme

Fonctionnalités	Températures élevées	Températures basses	Gel et cycles de gel/dégel	Stige	Précipitations intenses et inondations par ruissellement	Inondations fluviales et submersions marines
Catégorie 1 - Circulation - Bords et quais (cas d'habitat, d'activités)	2	0	0	0	0	0
Accrochage - amarrage	0	0	0	0	0	0
Fonctionnalités	Étiage de sécheresse (température)	Vent (tempête)	Mouvements de terrain	Sécheresse	Stige	Forêt (cas de forêt)
Catégorie 2 - Circulation - Bords et quais (cas d'habitat, d'activités)	2	2	0	0	0	0
Accrochage - amarrage	2	2	0	0	0	0

Niveau	Type d'impact	Description type d'impacts sur niveau de fonctionnalité	Niveau	Type d'impact	Description type d'impacts sur niveau de fonctionnalité
0	Pas d'impact	Pas d'impact sur la fonctionnalité	2	Majeur	Impact engendrant une perturbation de la fonctionnalité (mode dégradé)
1	Mineur	Impact engendrant une gêne mineure de la fonctionnalité	3	Critique	Impact engendrant un arrêt / une rupture totale de la fonctionnalité

Exemples de notes de vulnérabilité actuelle - Cerema

Pour en savoir plus :

Méthode, études de cas, guide synthétique : <https://www.cerema.fr/fr/activites/transition-energetique-climat/adaptation-au-changement-climatique>

Contact : [resilience-infrastructures@cerema.fr](mailto:resilience-infrastructures@cerema.fr)



# Risque d'inondations et Solutions Fondées sur la Nature : Une évaluation intégrée des bénéfices dans le bassin de la Brague

---

*Amandine GNONLONFIN<sup>a</sup>, Ali DOUAI<sup>a</sup>, Philomène FAVIER<sup>b</sup>, Guillaume PITON<sup>b</sup>, Jean Marc TACNET<sup>b</sup>*

<sup>a</sup>Université de Nice/ IMREDD, Nice, France<sup>1</sup>

<sup>b</sup>Univ. Grenoble Alpes, Irstea, UR ETGR, Centre de Grenoble, France<sup>2</sup>

## Résumé de poster

Les impacts des inondations sont régulièrement catastrophiques, par exemple sur l'arc méditerranéen. Selon météo France, cette région enregistre environ 75 % des pluies extrêmes entraînant chaque année des inondations qui coûtent des millions d'euros et des vies humaines. La GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et de la Protection des Inondations) encourage une approche globale qui vise à mettre en cohérence les objectifs de l'amélioration de la qualité de la biodiversité, des habitats et de réduction des risques d'inondation à l'échelle des bassins versants. Pour y parvenir, la GEMAPI promeut des mesures visant la restauration des fonctions écologiques comme par exemple la restauration des zones humides, les formations boisées riveraines des méandres. Ces mesures correspondent à des solutions fondées sur la nature (SFN) qui font appel aux fonctions écologiques des écosystèmes pour répondre aux défis sociétaux. L'Union Internationale de Conservation de la Biodiversité (UICN) et l'Union Européenne encouragent l'utilisation de ces mesures de protection et de prévention du risque d'inondation.

La recherche scientifique a un rôle clé à jouer dans la large adoption de ces mesures par les autorités locales. Elle doit apporter la preuve des bénéfices économiques, sociaux et environnementaux de ces mesures. C'est l'objectif que s'est donné le projet NAIAD-H2020<sup>3</sup>, projet multidisciplinaire financé par l'Union Européenne. Il cherche à opérationnaliser le concept de la valeur assurantielle des écosystèmes sur la base de neuf sites de démonstration dont le bassin versant de la Brague et du Lez sont les deux sites français du projet NAIAD H2020. Les partenaires du projet, à savoir l'Université de Nice, l'IRSTEA, le BRGM et la CCR (Caisse Centrale de Réassurance), y développent une méthodologie participative pour évaluer les bénéfices et coûts des SFN dans un but de fournir des éléments d'aide à la décision aux autorités locales. Les résultats permettront d'avoir des éléments chiffrés dans les bassins de la Brague et du Lez sur :

- La perception de la population des SFN et la valeur socio-culturelle qu'elle accorde à ces mesures ;
- La valeur économique des impacts des SFN incluant les coûts d'investissements, d'opportunités et de maintenance et les bénéfices (les dommages évités et les services écosystémiques) ;
- La valeur environnementale des impacts des SFN sur la biodiversité, les habitats, la qualité des eaux et le statut hydro-morphologique des bassins.

Ce poster vise à résumer les méthodes et résultats obtenus dans la Brague.

---

<sup>1</sup> Contact Université de Nice/IMREDD : [amandine.gnonlonfin@unice.fr](mailto:amandine.gnonlonfin@unice.fr).

<sup>2</sup> Contact IRSTEA : [guillaume.piton@irstea.fr](mailto:guillaume.piton@irstea.fr); [jean-marc.tacnet@irstea.fr](mailto:jean-marc.tacnet@irstea.fr).

<sup>3</sup> <http://naiad2020.eu/>

# Risque d'inondations et Solutions Fondées sur la Nature (SFN)

## Une évaluation intégrée des bénéfices dans le bassin de la Brague (06)

A. GNONLONFIN<sup>a</sup>, A. DOUA<sup>a</sup>,  
P. FAVIER<sup>b</sup>, G. PITON<sup>b</sup>, J-M. TACNET<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Université de Nice/IMREDD  
<sup>b</sup>Univ. Grenoble Alpes, IRSTEA, ETNA  
En partenariat avec la CCR (Caisse Centrale de Réassurance)



### Problématique opérationnelle, questions posées

Quels sont les arguments en faveur des Solutions Fondées sur la Nature contre les inondations ?

Quel est le niveau actuel du risque d'inondation à l'échelle du bassin versant ?

Quels sont les bénéfices, les coûts et les préférences associés aux Solutions Fondées sur la Nature ?

### Problématiques de recherche - objectifs

Au cours du 20<sup>e</sup> siècle et depuis le début du 21<sup>e</sup>, les conséquences des inondations ont été catastrophiques dans les départements de l'arc méditerranéen générant des millions d'euros de dommages et des pertes en vies humaines. En contexte de changement global, les Solutions Fondées sur la Nature (SFN) se présentent comme des alternatives de gestion des risques naturels.

Pour passer du "concept" à "l'adoption et mise en œuvre", les SFN doivent démontrer leur efficacité et acceptabilité. Le projet NAIAD-H2020 poursuit cet objectif. Les partenaires du projet tentent d'évaluer les impacts des SFN dans trois domaines : biophysiques, économiques et socio-culturels (Tab. 1).

Tableau 1 : Illustration méthodologique, critères, indicateurs et méthodes

Critères dans la Brague	Indicateurs			Quelles méthodologies dans NAIAD?
	Biophysiques	Economiques	Socio-culturels	
Prévention et protection contre les crues	★	★	★	• Modélisations simple et avancées, • La réduction des dommages, • L'enquête socio-culturelle
Environnement et biodiversité	★			• L'Index de Qualité Morphologique (MQI), • Indicateurs qualité environnementale complémentaires
Re-développement		★	★	• Le Consentement A Payer (CAP), • L'enquête socio-culturelle,
Qualité de vie		★	★	• Le Consentement A Payer (CAP), • L'enquête socio-culturelle,
Coûts globaux des solutions		★		• Coûts d'investissement, de maintenance, • Coûts d'opportunité
Gouvernance et cohésions		☆	☆	?

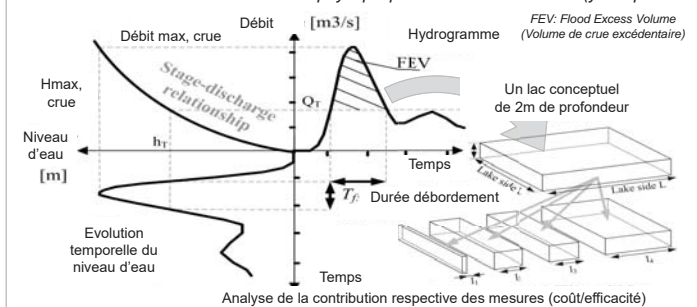
### Méthodes et éléments d'analyse

- Implication des parties prenantes :
  - 15 entretiens individuels et 5 ateliers participatifs.
- Diagnostic du risque dans la Brague :
  - Cartographie des aléas; Analyses coût-efficacité (Fig. 1 & 2);
  - Analyse des Dommages Moyens Annuels: 2,4 à 7,4 millions €/an et 0,18 décès/an (Fig. 3)
- Arguments en faveur des SFN :
  - Limitations et coûts importants des solutions classiques de génie civil ;
  - Evolution de perception du risque par la population ;
  - Bénéfices additionnels des SFN (paysage, qualité de vie, gouvernance participative).

### Applications

- Evaluation des dommages évités grâce aux SFN.
- Analyse coûts-bénéfices et multicritères des SFN.
- Evaluation des préférences et du consentement à contribuer à la mise en œuvre des SFN.

Figure 1: Evaluation des volumes de crue excédentaires. Connaître et se baser sur leur efficacité physique pour choisir des mesures (y compris SFN)

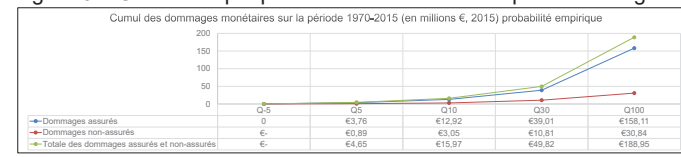


Méthode simple de diagnostic pour évaluation rapide coût-efficacité.  
Exemple: FEV Brague à Biot: 500 000 m<sup>3</sup>, FEV Brague à Antibes: 1 300 000 m<sup>3</sup>  
→ p.m. Bassin de rétention: ~10-15 000 m<sup>3</sup>  
→ Il faut utiliser des mesures complémentaires, par exemple ZEC et élargissement du lit

Figure 2 : Comparaison d'un modèle ruissellement (CCR) et PPRI



Figure 3 : Courbe empirique de vulnérabilité historique de la Brague



Pour en savoir plus : <http://naiad2020.eu/>

Projet H2020 financé par l'Union Européenne (Grant No 730497)



ROCKtheALPS : Les forêts de montagne sont des Rock stars !

[www.alpine-space.eu/projects/rockthealps/en/home](http://www.alpine-space.eu/projects/rockthealps/en/home)

Au nom du consortium du projet Interreg espace alpin ROCKtheALPS : Frédéric Berger, UR LESSEM, Irstea, 2, rue de la papeterie BP76, 38 402 Saint Martin d'Hères Cedex, frederic.berger@irstea.fr , +33 (0)4 76 76 28 00, +33 (0) 6 37 25 70 87

Les 6 conférences ministérielles de l'UE sur la protection des forêts en Europe tenues depuis 1990, ont toutes souligné la nécessité d'une approche commune pour valoriser les services écosystémiques des forêts (SEF) en tant que base pour le développement d'une gestion durable des forêts. La priorisation des SEF doit être faite sur la base des besoins de la société. La réduction et la prévention des risques naturels est l'un de ceux-ci. Afin d'éviter les conséquences catastrophiques générées par l'altération voire la disparition du couvert forestier, il faut avant tout pouvoir localiser les secteurs forestiers qui ont un rôle de protection, ce qui nécessite un zonage cartographique de ce service rendu par les écosystèmes forestiers.

Dans ce contexte, la finalité du projet ROCKtheALPS est la valorisation de la protection offerte par les écosystèmes forestiers vis-à-vis du risque générés par les aléas rocheux. Cette finalité est portée par la demande sociétale d'amélioration de la prévention des risques naturels par une meilleure prise en compte des services rendus par les écosystèmes terrestres dans les stratégies d'aménagement durable des territoires. L'objectif général de ce projet est de réaliser la première cartographie harmonisée à l'échelle de l'arc alpin des forêts à fonction de protection pare-risques rocheux pour la totalité de l'espace alpin. Cette carte est l'une des pièces manquantes nécessaires pour améliorer la politique des forêts de montagne de l'UE. Pour atteindre cet objectif, ce projet capitalise les connaissances acquises dans plusieurs projets interreg et a été construit par un consortium de 15 partenaires des 6 pays de l'espace alpin.

Un modèle innovant (ROCK-EU) a été développé en associant un nouvel indice topographique, le principe de la ligne d'énergie et un module de déviation trajectographique 3D. Afin de caler le modèle ROCK-EU, la première base de données alpines sur les événements passés pour lesquels les profils topographiques sont connus a été construite. Au premier janvier 2019 cette base de données contenait 8911 profils topographiques. Elle sera bientôt enrichie avec des données norvégiennes et canadiennes. Le concept du modèle ROCK-EU a été utilisé pour développer une application (DETALE : aide à la DETermination de la valeur d'Angle de Ligne d'Energie) d'aide au choix de la valeur d'angle de ligne d'énergie par les experts dans le cadre de l'utilisation de la méthodologie MEZAP (Méthodologie de Zonage de l'Aléa chutes de Pierres pour l'aide à la réalisation des PPRn en France).

Associé au modèle ROCK-EU, une boîte à outil alpine pour évaluer l'effet protecteur des peuplements forestiers vis-à-vis des risques rocheux a été construite : TORRID (Toolbox for assessing the protective effect of forests against rOckfall and expressing the protective role in a Risk Reduction InDex). Elle permet d'évaluer les caractéristiques optimales des peuplements forestiers pour avoir une Réduction des Risques Rocheux (RRR) efficace.



# ROCKtheALPS : Les forêts de montagne sont des Rock stars !

## Des outils pour la valorisation du service de protection des écosystèmes forestiers

Frédéric Berger<sup>1</sup>, Jean-Baptiste Barre<sup>1</sup>, Sylvain Dupire<sup>1</sup>,  
David Toe<sup>1</sup>, ROCKtheALPS<sup>2</sup>

[frederic.berger@irstea.fr](mailto:frederic.berger@irstea.fr)  
<https://www.alpine-space.eu/projects/rockthealps/en/home>

<sup>1</sup> Irstea Grenoble - UR LESSEM

<sup>2</sup> Le consortium du projet ROCK The ALPS

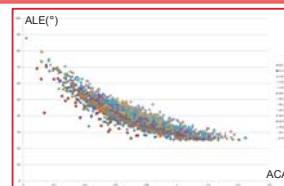


### Problématique opérationnelle, question posée :

Les écosystèmes forestiers assurent un rôle de prévention important des risques rocheux. Afin d'éviter les conséquences catastrophiques générées par l'altération voire la disparition du couvert forestier, il est nécessaire de 1) localiser les secteurs forestiers qui jouent ce rôle et 2) valoriser ce service écosystémique et les Solutions Fondées sur la Nature dans les stratégies de prévention de ce risque.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

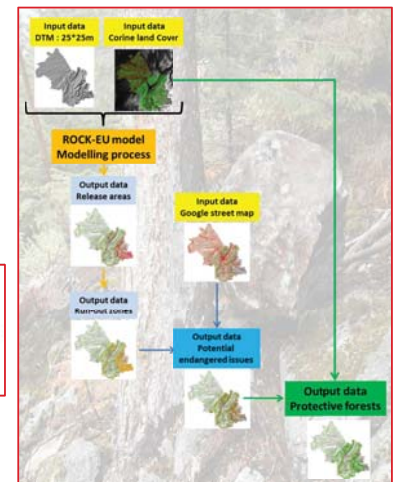
- Construire de nouveaux indicateurs topographiques pour optimiser l'utilisation du concept de la ligne d'énergie et développer des modèles statistiques innovants d'aide à la cartographie des enveloppes maximales de propagation.
- Construire une méthodologie harmonisée de cartographie des forêts à fonction de protection pare-pierres et de quantification de la réduction du risque rocheux par les écosystèmes forestiers.
- Développer une méthodologie pour l'évaluation économique du service de protection pare pierres rendu par les écosystèmes forestiers.



La base de données contenant 4345 évènements (©ROCKtheALPS-2019)



Le modèle statistique ROCK-EU version experte pour l'aide à la cartographie à l'échelle d'un profil topographique (©ROCKtheALPS-2019)



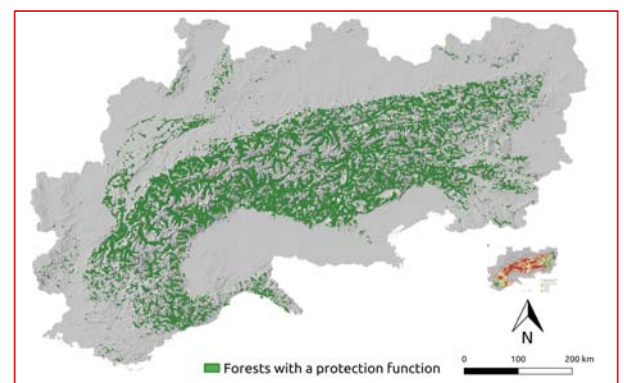
La Méthodologie de cartographie des forêts à fonction de protection (©ROCKtheALPS-2019)

### Résultats

- La construction de la première base de données alpine sur les évènements chutes de pierres/blocs rocheux : au 1<sup>er</sup> mars 2019 cette base de données est riche de 9537 profils topographiques correspondant à 4345 évènements.
- Le développement d'une méthode innovante et du premier modèle statistique européen (ROCK-EU) pour l'aide à la cartographie des enveloppes de propagation maximale des aléas rocheux.
- La réalisation de la première carte à l'échelle de la totalité de l'espace alpin des forêts à fonction de protection pare-risques rocheux.

### Applications

- Valorisation du service écosystémique de protection pare-risques rocheux des écosystèmes forestiers dans la Gestion Intégrée des Risques naturels (GIRN) et dans la nouvelle Méthodologie de Zonage de l'Aléa chutes de Pierres (MEZAP).
- En région ARA aide à la mise en œuvre de la mesure 8.52 du PDR FEADER 2014-2020 sur le territoire Rhône-Alpes.



La première carte à l'échelle de l'espace alpin des forêts à fonction de protection pare-risques rocheux (©ROCKtheALPS-2019)

Ces travaux contribuent aux objectifs du Groupe d'Action 8 de la Stratégie macrorégionale de l'UE pour la Région Alpine (SUERA) : « Améliorer la gestion des risques et mieux gérer le changement climatique, notamment par la prévention des risques naturels de grande ampleur »



Pour en savoir plus : <https://www.alpine-space.eu/projects/rockthealps/en/home>

## **Titre du Poster : Analyse des coûts associés à l'érosion des sols et à la turbidité de l'eau potable en contexte karstique (Normandie, France)**

Edouard Patault<sup>1</sup>, Jérôme Ledun<sup>2</sup>, Valentin Landemaine<sup>3</sup>, Arnaud Soullignac<sup>4</sup>, Cécile Hérivaux<sup>4</sup>, Matthieu Fournier<sup>1</sup>, Jean-Daniel Rinaudo<sup>4</sup>, Olivier Cerdan<sup>3</sup>, Jean-François Ouvry<sup>2</sup>, Benoit Laignel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Morphodynamique Continentale et Côtière, UMR CNRS 6143 M2C, Université de Rouen, 76821 Mont-Saint-Aignan, France

<sup>2</sup>AREAS, 2 Avenue Foch, F-76460 Saint-Valéry-en-Caux, France

<sup>3</sup>BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, BP6009, 45060 Orléans Cedex 2, France

<sup>4</sup>BRGM, 1039 Rue de Pinville, 34000 Montpellier, France

Auteurs à contacter pour toute communication relative aux assises :

- **Arnaud Soullignac**, Economiste de l'environnement, BRGM, 1039 Rue de Pinville, 34000 Montpellier, [a.soullignac@brgm.fr](mailto:a.soullignac@brgm.fr), 04 67 15 79 83
- **Edouard Patault**, Laboratoire Morphodynamique Continentale et Côtière, UMR CNRS 6143 M2C, Université de Rouen, 76821 Mont-Saint-Aignan, [edouard.patault1@univ-rouen.fr](mailto:edouard.patault1@univ-rouen.fr), 06 25 99 17 08

### **Résumé (399 mots)**

La **Région Haute-Normandie** est caractérisée par son **hyper-sensibilité aux ruissellements** sur tout le territoire avec des conséquences sociales, environnementales et économiques significatives. La Région subit des inondations par **ruissellement** générant des **coulées boueuses**, dont la densité par km<sup>2</sup>, classe la Région Haute Normandie au **2<sup>nd</sup> rang** Français.

La Région souffre conjointement d'un problème de **turbidité aux captages d'alimentation en eau potable**, induit par cette érosion des terres. Près de **50 % des points de captages des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable** sont touchés par des pics de turbidité, avec des conséquences qui vont de la simple hausse des coûts de traitement aux restrictions d'usage de l'eau. Selon les années, entre **1 000 et 30 000 habitants** sont **privés d'eau potable** quelques jours par an du fait de ces phénomènes. En conséquence, de lourds investissements ont dû être réalisés pour l'adaptation des infrastructures liées à l'eau.

Motivé par une décennie de catastrophes, et alimenté par les résultats de recherches scientifiques établies à la fin des années 90, des **stratégies d'actions** ont été développées et se sont traduites en **d'ambitieux programmes investissements** visant à limiter ces phénomènes. Deux grandes catégories d'actions ont été mises en œuvre ; des aménagements hydrauliques structurels tels que des retenus d'eau ou des bassins, et des aménagements d'hydraulique douce tels que des fascines ou des noues enherbées. Après plus de 15 années de mises en œuvre progressive, se pose la question de la pertinence des stratégies implémentées.

Selon une **approche transdisciplinaire**, des **spécialistes des sciences de l'eau et du sol** modélisent les phénomènes considérés selon différents scénarios d'actions afin d'en comparer les effets en terme de réduction des aléas inondation, coulée de boues et turbidité, et des **économistes** modélisent les coûts directs et indirects de ces scénarios selon une approche coût-bénéfice. Les bassins versants de la Lézarde et de l'Austreberthe sont les deux territoires pilotes de cette étude opérationnelle alimentée par des **données locales techniques et économiques**, mises à disposition par de nombreux acteurs locaux dont les gestionnaires de bassins versants, les gestionnaires des services d'eau, et les responsables de la gestion de crise.

Les deux principales applications opérationnelles de ce programme sont (i) le **bilan technico-économique de la politique menée depuis 2000** par une modélisation des phénomènes physiques et des dynamiques socio-économiques associées, et (ii) fournir des éléments d'aide à la décision pour **une éventuelle adaptation ou réorientation de la stratégie d'intervention publique**.

# Ruissellement, érosion des sols, et turbidité aux captages d'AEP

## Evaluation de l'efficacité des politiques publiques

Edouard Patault<sup>1</sup> ([edouard.patault1@univ-rouen.fr](mailto:edouard.patault1@univ-rouen.fr)), Jérôme Ledun<sup>2</sup>, Valentin Landemaine<sup>3</sup>, Arnaud Soullignac<sup>3</sup> ([a.soullignac@brgm.fr](mailto:a.soullignac@brgm.fr)), Matthieu Fournier<sup>1</sup>, Jean-Daniel Rinaudo<sup>3</sup>, Olivier Cerdan<sup>3</sup>, Jean-François Ouvry<sup>2</sup>, Benoit Laignel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Normandie Univ, Rouen, UNIROUEN, UNICAEN, CNRS, M2C, FED-SCALE, Rouen, France  
<sup>2</sup> AREAS, Saint-Valéry-en-Caux  
<sup>3</sup> BRGM (Orléans et Montpellier)



Le territoire Haut-Normand est caractérisée par son **hyper-sensibilité aux ruissellements** qui produit de lourds impacts sociaux, environnementaux et économiques. En addition des **inondations boueuses**, ces phénomènes causent des **pics de turbidité aux captages d'alimentation en eau**.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Motivée par une décennie de catastrophes, et alimentée par les résultats de recherches scientifiques, **une stratégie d'actions a été développée** et s'est matérialisée, depuis l'an 2000, en un ambitieux **programme d'investissement**.

L'objectif est aujourd'hui de juger la **pertinence des différentes actions** mises en œuvre, afin de proposer des éléments d'aide à la décision pour une éventuelle **réorientation de la stratégie**.

Pour cela, une **évaluation économique** du type coût-bénéfice compare plusieurs scénarios alimentés par un considérable recueil et traitement de **données technico-économiques** concernant les aléas, les impacts, et les actions mises en œuvre. L'évaluation est rendue possible par la réalisation de **modélisations** des phénomènes d'inondation, de ruissellement, et l'intégration des écoulements souterrains.

### Résultats

Il est attendu que cette étude offre une meilleure **connaissance des aléas, des dommages** et des coûts relatifs aux différents enjeux du territoire en cas d'inaction, et **une estimation de l'efficacité et des coûts** de chaque type d'action et ouvrages.

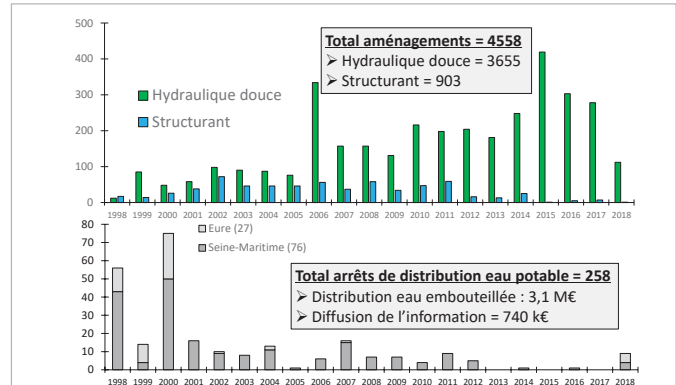
### Applications

Sur la base de ces résultats, les deux bassins versants pilotes (La Lézarde et l'Austreberthe) et l'ensemble de la Seine-Maritime pourront **réorienter leur politique de lutte contre les risques liés au ruissellement** en se focalisant sur les actions les plus efficaces, et en priorisant leurs efforts vers les enjeux les plus sensibles en termes de coûts des impacts pour la collectivité.

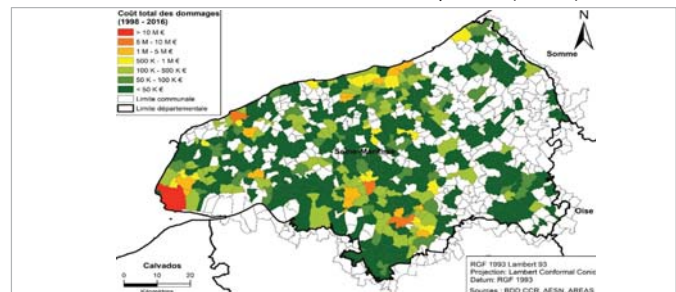
L'amélioration de la connaissance sur ces phénomènes et sur le **rapport coût-efficacité des actions d'adaptation** pourra être utile à tout territoire soumis à des risques similaires.



Bassin Seine-Aval (gris), Bassins pilotes (rouge) et coupures de presse



Evolution des ouvrages anti-inondations/coulées boueuses (en haut) et nombre d'arrêts de distribution d'eau potable (en bas)



Coût des dommages aux particuliers/entreprises indemnisés au titre de la procédure CATNAT (Seine-Maritime)

Titre: SPRITE, un jeu sérieux pour enseigner la gestion des risques naturels

Auteurs:

Carole Adam, Univ. Grenoble-Alpes, LIG, CNRS UMR 5217, Grenoble

Franck Taillandier, Univ. Bordeaux I2M, CNRS UMR 5295, Talence

Contact: Carole.adam@imag.fr

Résumé:

La gestion des risques, et en particulier des risques naturels et territoriaux, est devenue une compétence essentielle pour les ingénieurs en génie civil. L'enseignement de cette compétence est donc cruciale, mais aussi très difficile. En effet, ces risques et leur gestion paraissent trop abstraits aux étudiants, et l'organisation de travaux pratiques est compliquée et coûteuse. Par ailleurs une telle gestion implique une interconnection de mécanismes à la fois humains et techniques, complexes à expliquer. Nous avons donc développé un jeu sérieux capable d'assister le processus d'enseignement de la gestion des risques territoriaux aux étudiants en ingénierie civile. Ces étudiants sont supposés apprendre diverses notions comme les risques, la vulnérabilité d'un territoire, la résilience, la perception du risque, mais aussi l'analyse multi-critère et la gestion équilibrée des risques.

Notre jeu, nommé SPRITE, est basé sur un modèle multi-agent d'une étude de cas concrète qui constitue un bon cas d'école de gestion des risques : la submersion côtière sur l'île d'Oléron. Dans SPRITE, le joueur tient le rôle du maire ou d'un élu municipal sur l'île d'Oléron. Dans un contexte de risque de submersion marine, il doit assurer la sécurité et le bien-être des résidents de l'île, tout en maximisant sa propre performance vis-à-vis de différents critères économiques et environnementaux. Cette performance est sanctionnée non seulement par des dégâts lors d'éventuelles submersions, mais aussi par des élections, et par un score final.

Ce jeu est complètement implémenté en GAMA, une plateforme libre de développement de simulations multi-agents permettant l'intégration de données géographiques réelles. Il est utilisé depuis 2 ans dans le cours de gestion des risques du Master de Géologie et Ingénierie Civile, à l'Université de Bordeaux. L'évaluation de l'engagement, la motivation, et la rétention d'information des étudiants utilisant ce jeu sérieux a montré un effet très positif.

Version courte

Problématique opérationnelle concernée : enseignement de la gestion des risques aux futurs ingénieurs civils

Application effective : utilisation dans le Master Géologie et Ingénierie Civile de l'Université de Bordeaux

Acteurs concernés : futurs ingénieurs civils

Territoire concerné : île d'Oléron (à titre d'exemple)

# SPRITE : un jeu sérieux pour enseigner la gestion des risques naturels

## Risque de submersion marine sur l'île d'Oléron

Carole Adam  
Carole.adam@imag.fr  
Franck Taillandier  
franck.taillandier@irstea.fr

Univ Grenoble-Alpes, Laboratoire d'Informatique de Grenoble  
IRSTEA Aix-en-Provence



### Problématique :

La gestion des risques naturels est une compétence cruciale mais difficile à enseigner, car très abstraite et impliquant des facteurs humains et techniques interconnectés, complexes à appréhender.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

L'objectif est de proposer un **jeu sérieux** pour **assister l'enseignement** de la gestion des risques naturels aux étudiants ingénieurs. Il doit permettre d'enseigner différentes notions : vulnérabilité d'un territoire, résilience, perception subjective du risque, analyse multicritère et gestion équilibrée des risques. Notre approche se base sur un **cas d'étude réel**, intégrant des données géographiques, et utilise un **modèle multi-agent** hétérogène de la population.

### Résultats

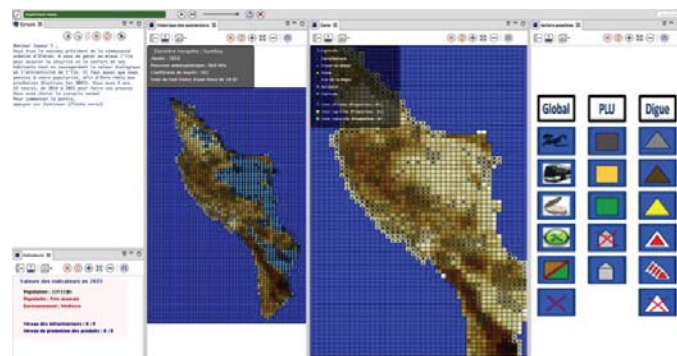
Notre jeu, **SPRITE**, est basé sur la **submersion côtière sur l'île d'Oléron** et bénéficie d'un modèle d'inondation **validé** par rapport aux relevés de la tempête Xynthia. Le joueur tient le rôle du maire et doit assurer la sécurité et le bien-être des habitants face au risque de submersion, tout en maximisant différents critères contradictoires (économie, écologie...). Il peut pour cela réaliser différentes actions : construire des digues, modifier le PLU... Sa stratégie est sanctionnée par des dégâts lors d'éventuelles submersions, le possible départ des habitants, mais aussi par des élections.

### Applications

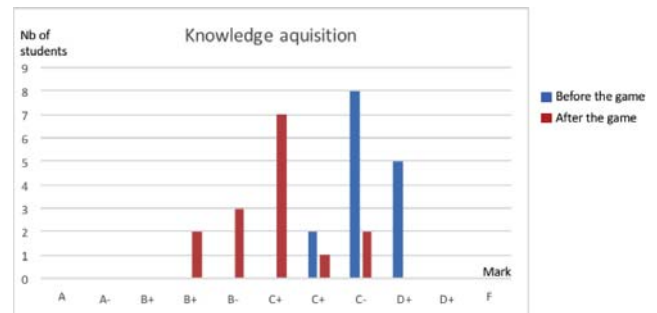
SPRITE est complètement **implémenté** en GAMA et est utilisé depuis 2 ans dans le cours de gestion des risques du Master de Géologie et Génie Civil à l'Université de Bordeaux. L'évaluation de l'engagement, la motivation, et la compréhension des notions par les étudiants utilisant ce jeu sérieux a montré un effet très positif.

#### Pour en savoir plus :

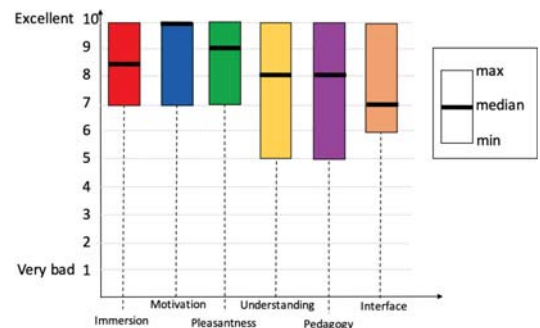
F. Taillandier, C. Adam. SPRITE: a serious game for teaching natural risk management. In: Simulation & Gaming. Vol 49 (4), pp: 441-470. April 2018. <https://www.i2m.u-bordeaux.fr/Projets/Autres-projets2/SPRITE>



Capture d'écran de l'interface de jeu SPRITE



Score des étudiants avant/après avoir joué à SPRITE



Evaluation de SPRITE par les étudiants

# Un outil de cartographie des crues extrêmes

*A. Paquier<sup>1</sup>, C. Poulard, Q. Royer*

*Irstea, UR RIVERLY, centre de Lyon-Villeurbanne, 5 Rue de la Doua, CS 20244, F-69625  
Villeurbanne Cedex, France*

Dans le cas où on dispose d'une carte d'une inondation de référence, mais pas du modèle de calcul, la méthode des surcotes permet d'estimer la zone inondée supplémentaire pour un débit supérieur au débit de référence. Le principe de calcul est l'application de la formule du régime uniforme dans quelques sections en travers de la vallée puis une interpolation en niveau d'eau afin d'établir la limite de la zone inondée par confrontation avec un modèle numérique de terrain.

L'outil maintenant librement disponible se présente comme un plugin de Q-GIS, ce qui permet de visualiser les résultats et de choisir ainsi le meilleur paramétrage. La méthode repose sur la capacité de l'utilisateur à sélectionner tronçons et profils représentatifs et à caler leurs paramètres pour s'ajuster à la carte de référence. L'établissement d'une nouvelle carte d'inondation pour un autre débit s'effectue ensuite automatiquement avec un éventuel ajustement des paramètres aux caractéristiques de la vallée.

Les limitations d'une telle méthode sont bien connues : nécessité d'une propagation de l'inondation selon un axe de vallée et absence d'aménagements ou de singularités topographiques qui écartent la ligne d'eau de celle du régime uniforme. La portée de ces limitations est ici réduite par l'utilisation d'une base constituée par une carte d'inondation de référence. Les erreurs sont donc limitées car, d'une part, le calcul ne porte que sur l'extension de la zone inondée et d'autre part, l'ajustement du modèle à la carte de référence oblige à choisir un jeu de paramètres qui puisse en partie compenser l'écart entre la vallée réelle et le canal idéal où le régime uniforme serait installé. En outre, l'utilisateur a le choix entre deux variantes de calcul, ce qui lui permet d'avoir une estimation de l'incertitude due à la méthode de calcul utilisée.

Le plugin Surcotes est donc adapté à l'établissement de cartes des inondations extrêmes (dans le sens, plus rares que les crues référencées) que ce soit dans le cadre d'une étude préliminaire (diagnostic ou aménagement) ou d'une gestion de crise, cas où l'examen de multiples scénarios est privilégié par rapport à la précision sur l'extension de l'inondation d'un scénario.

---

<sup>1</sup> Auteur correspondant : [andre.paquier@irstea.fr](mailto:andre.paquier@irstea.fr)

# Un outil de cartographie des crues extrêmes

## Comment délimiter rapidement les zones inondées le long des rivières

A. Paquier, C. Poulard, Q. Royer  
andre.paquier@irstea.fr, christine.poulard@irstea.fr,  
quentin.royer@irstea.fr

Irstea, centre de Lyon Villeurbanne, U.R. RiverLy



Disposant de la carte d'inondation pour un débit donné,  
comment obtenir la carte d'inondation pour un débit supérieur  
sans avoir recours à un modèle hydraulique complexe ?

### Objectif :

pour la directive Inondations et pour la sensibilisation de la population aux événements extrêmes, produire une carte des inondations rares le long d'une rivière rapidement en utilisant l'information disponible sur une crue connue (carte des zones inondées, débits) et des données standard (topographie, occupation du sol, réseau hydrographique).

**Méthode des Surcotes :** utiliser Q-Gis comme outil de travail et, par tronçon de rivière homogène, calculer une surélévation du niveau d'eau en utilisant un coefficient de Strickler représentatif de l'occupation du sol au-dessus du niveau d'eau connu puis reporter ce niveau sur la topographie pour tracer la carte

### Résultats

Le résultat d'un calcul est une carte des zones inondées pour le débit cible (par exemple, débits de pointe de la crue de 2002 ou de la crue de période de retour 200 ans). La couche Q-GIS obtenue peut être superposée à toute autre information y compris les résultats d'autres calculs Surcotes avec paramètres différents ce qui permet d'afficher la marge d'incertitude. Cette incertitude (de l'ordre de 1 m en général) dépend plus de la précision des données que de l'incertitude liée à la méthode.

### Applications

Le plug-in Surcotes de Q-Gis peut être utilisé maintenant pour la cartographie des inondations extrêmes (plus rares que connues)

Téléchargement : <https://forge.irstea.fr/projects/surcotes>

Contact : [logiciel.surcotes.contact@lists.irstea.fr](mailto:logiciel.surcotes.contact@lists.irstea.fr)

Le plug-in pourrait être aussi utilisé en prévision d'inondations :

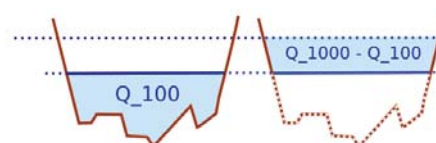
- soit avec calage à l'avance, actualisation immédiate des cartes d'inondation en fonction des prévisions de débit
- soit version améliorée pour permettre un recalage automatique sur des observations avant production des cartes

### Pour en savoir plus :

Méthode des surcotes : <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160710007>

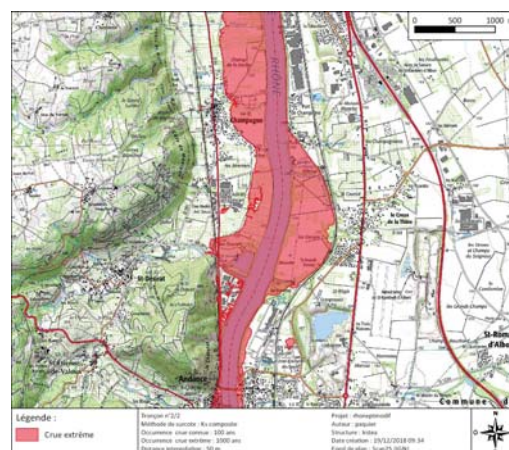
Modélisation des inondations extrêmes : séminaire du projet ANR Flowres à Lyon le 4/4/2019

(Inscription: <https://evento.renater.fr/survey/seminaire-restitution-anr-flowres-04-04-19-dw34khy2>)

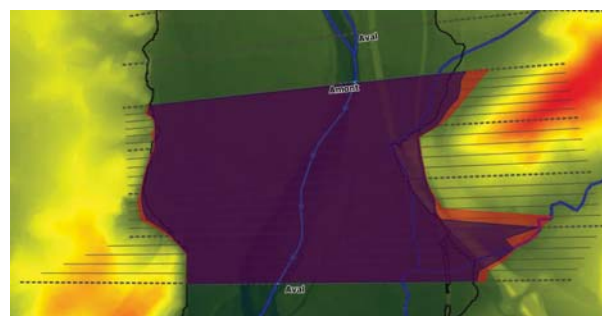


Principe du calcul hydraulique  
(tiré de (Paquier et al., 2016)

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160710007>



Carte finale du plug-in Surcotes pour un tronçon du Rhône  
(document de travail)



Éléments utilisés pour le calcul et le calage d'un modèle  
(trait noir = limite connue, violet = limite connue reconstruite,  
rouge = limite extrême, MNT, réseau hydrographique, profils en travers)

## **Valorisation des données historiques pour la connaissance des risques côtiers en Afrique de l'Ouest, projet WACA-F**

Auteurs :

Boris LECLERC, Cerema [boris.leclerc@cerema.fr](mailto:boris.leclerc@cerema.fr) (contact)

Fanette BARRAQUET-PORTE, Cerema [f.barraquet-porte@cerema.fr](mailto:f.barraquet-porte@cerema.fr)

Valentine LANFUMEY, Shom [valentine.lanfumey@shom.fr](mailto:valentine.lanfumey@shom.fr)

Lénaïck MANGUY, MTES [lenaick.menguy@developpement-durable.gouv.fr](mailto:lenaick.menguy@developpement-durable.gouv.fr)

Romaine VIALLE, IGN [romain.vialle@ign.fr](mailto:romain.vialle@ign.fr)

Résumé :

Les zones côtières d'Afrique de l'Ouest jouent un rôle majeur dans le développement des pays concernés. Elles abritent en effet plus d'un tiers de la population et 56 % du PIB en sont issus. Cependant, ces zones sont menacées par l'érosion côtière, phénomène susceptible de s'amplifier dans un contexte de changement climatique.

Le 21 avril 2016, suite aux engagements pris durant la COP 21, un arrangement administratif « côtes résilientes au changement climatique et économie bleue » a été signé entre le ministère de la transition écologique et solidaire et la Banque mondiale. Le projet WACA (West Africa Coastal Areas) s'inscrit dans le cadre de cette collaboration.

Afin de s'investir rapidement dans le projet WACA, le ministère de la transition écologique et solidaire a décidé de soutenir, le 20 mars 2017, un projet de coopération avec le Sénégal, le Togo et le Bénin, baptisé WACA-F, en s'appuyant sur l'expertise de quatre établissements publics : le BRGM, le Cerema, l'IGN et le Shom. Piloté par le Cerema, le projet a pour objectif de mettre à disposition des pays concernés des « données historiques ». Ces dernières, disponibles uniquement dans les archives françaises, ont été acquises sur plusieurs décennies et peuvent dater de plus d'un siècle. Issues des cartes marines, des relevés bathymétriques et des photos aériennes, elles constituent une source d'information essentielle à la compréhension de l'évolution du phénomène d'érosion côtière.

La mise à disposition des données anciennes auprès des pays bénéficiaires, suppose un travail minutieux de numérisation et de géoréférencement permettant de rendre ces données exploitables et compatibles avec les outils actuels. Une fois ce travail réalisé, de nombreuses informations peuvent être extraites des données historiques telles que la position du trait de côte, la tâche urbaine, la réalisation d'ouvrage, etc.

Les données historiques peuvent également être comparées avec des données actuelles afin de caractériser l'évolution du littoral sur plusieurs décennies. De manière plus précise, un indicateur d'érosion côtière sera construit afin de quantifier cette évolution.

Enfin, dans le cadre du projet WACA-F, un portail a été mis en œuvre afin de rendre accessible toutes les données produites et de présenter de manière ludique l'évolution du littoral au Bénin, Togo et Sénégal.

L'analyse et l'interprétation des données issues du projet WACA-F permettront d'améliorer la prise de conscience des risques côtiers et apporteront aux gouvernements des trois pays concernés des éléments de connaissance à même d'orienter la construction des politiques publiques locales notamment en matière d'aménagement durable des côtes.



# Valorisation des données historiques pour la connaissance des risques côtiers en Afrique de l'Ouest

## Projet WACA-F

B. Leclerc<sup>1</sup>, F. Barraquet-Porte<sup>1</sup>, F. Hédou<sup>1</sup>,  
R. Vialle<sup>2</sup>, V. Lanfumey<sup>3</sup>, L. Mengy<sup>4</sup>

Contact : boris.leclerc@cerema.fr

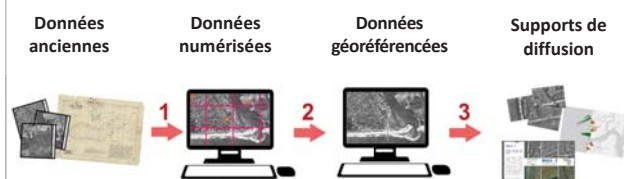
1. Cerema
2. IGN
3. Shom
4. MTES



Comment les données historiques peuvent améliorer la connaissance des phénomènes côtiers et être mises au service des politiques publiques ?

### Mises à disposition des données historiques

La mise à disposition des données historiques au format **SIG** et en flux **WMTS** passe par plusieurs étapes. Tout d'abord les documents papiers sont scannés en haute résolution puis numérisés. Les données ainsi numérisées subissent ensuite différents traitements : orientation, calage vertical, mosaïquage, assemblage... afin de permettre leur géoréférencement. Une fois calées dans le système de projection de référence, les données sont stockées dans une géodatabase.



- 1 Dématérialisation des documents en haute résolution/numérisation
- 2 Orientation / Sélection des clichés / Géoréférencement / Calage vertical / Mosaïquage / assemblage
- 3 Exploitation des données SIG

Étapes de mises à disposition des données historiques – Cerema

### Résultats

**1792** photos aériennes de l'IGN ont d'ores et déjà été mises à disposition des trois pays ouest-africains du projet WACA-F (Bénin, Sénégal et Togo). Les **242** levés bathymétriques du Shom devraient être disponibles d'ici fin 2019.

	Bénin	Sénégal	Togo		
Année	1955	1954	1955	1969	1976
Photos	242	1017	179	166	188

Photos aériennes anciennes disponibles

	Bénin	Sénégal	Togo
1894/1969	3	124	0
1969/2000	60	30	25

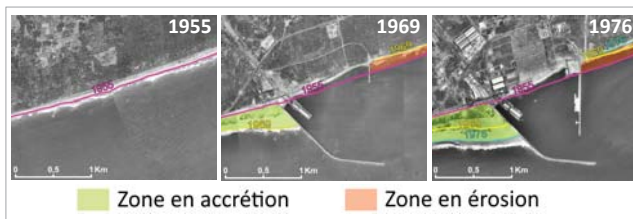
Levés bathymétriques anciens disponibles

### Applications

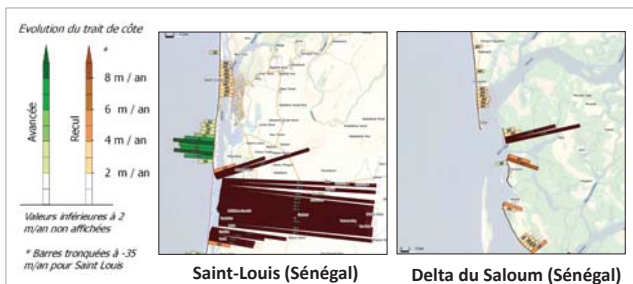
L'exploitation des données anciennes donne accès à une quatrième dimension : le temps. Elle permet ainsi de **mesurer l'évolution d'un territoire** en comparant le passé et le présent.

Les données historiques permettent d'extraire une multitude d'informations (**l'impact des aménagements côtiers**, l'évolution de la tache urbaine, l'occupation des sols, l'évolution morphodynamique fluviale et côtière...) capables d'apporter des clés de compréhension sur différents phénomènes et d'anticiper leurs impacts en adaptant les politiques futures en conséquence.

L'accès aux données historiques permet également de générer des indicateurs comme **l'indicateur d'érosion côtière**. Développé par le Cerema, cet indicateur permet de quantifier les phénomènes d'érosion et d'accrétion sur des dizaines d'années.



Impact du port de Lomé sur le transit sédimentaire – Cerema (source photos ancienne ©IGN)



Indicateur d'érosion côtière au Sénégal - Cerema

Pour en savoir plus :

Portail Internet : <https://arcg.is/0nnn4e>

Groupe de la Banque Mondiale, 2018, *D'une vision partagée du littoral à une réalité durable*.

Hedou et al., 2018, *Elaboration de l'indicateur national de l'érosion côtière*.

## Mise en place d'outils pour la vigilance crue sur les bassins karstiques

Perrine FLEURY, Jean-Christophe MARECHAL

BRGM Montpellier, 1039 rue de Pinville, 34 000, Montpellier

Auteur à contacter : Perrine FLEURY, p.fleury@brgm.fr

En milieu méditerranéen, la prévision des crues est particulièrement compliquée sur les secteurs carbonatés. Les prévisionnistes se heurtent à la complexité des systèmes karstiques, liée à la complexité des interactions entre eaux de surface et eaux souterraines. En étiage, lorsque les niveaux d'eau souterraine sont bas, le karst peut stocker de l'eau, il possède alors un pouvoir écrêteur. A l'inverse, en périodes de hautes eaux, ses capacités de stockage sont limitées, entraînant une augmentation de la part ruisselante du fait d'un refus à l'infiltration et également des transferts souterrains rapides pouvant amplifier les crues à l'aval des bassins karstiques.

Il est ainsi indispensable de caractériser le fonctionnement de ces hydrosystèmes particuliers. Ce travail passe par la réalisation d'étude hydrogéologiques pouvant regrouper plusieurs volets : (i) analyse hydrogéochimique, (ii) caractérisation du comportement hydrogéologique à l'exutoire karstique, et (iii) modélisation hydrologique du cours d'eau permettant la prise en compte de l'état du karst.

L'étude géochimique réalisée grâce à un échantillonnage lors d'une crue, permet de quantifier la contribution des eaux souterraines d'origine karstique aux crues du cours d'eau dans le temps et l'espace.

L'étude hydrogéologique réalisée sur l'exutoire karstique principal (ou sur un point jugé représentatif de son fonctionnement) permet de caractériser les relations entre les pluies et le débit du système karstique, ainsi que les éventuels phénomènes d'écrêtage et de trop plein.

La modélisation hydrologique doit prendre en compte la contribution éventuelle du système karstique à la crue. Des simulations de scénarios de pluie pour diverses situations hydrologiques initiales du karst permettent d'envisager les différentes configurations hydrologiques auxquelles les prévisionnistes doivent faire face.

Ces études permettent de développer des outils pour anticiper la réponse des hydrosystèmes à un épisode de pluie (Fleury et al., 2010 ; 2011 ; 2013b). A titre d'exemple, l'outil réalisé sur le Lez sous forme d'un abaque permettant une utilisation rapide en temps de crise, est utilisé avec succès depuis plus de sept ans par le Service de Prévision des Crues Med Ouest (SPC MO) en charge de la prévision sur ce tronçon réglementaire. Le niveau d'eau dans le karst suivi en continu à la source du Lez permet de définir les éventuelles capacités d'écrêtage du karst à l'amont de la ville de Montpellier. Ensuite, une évaluation de la réponse du système en terme de débit et niveau de vigilance est proposée à partir des prévisions de précipitations de Météo France (cumul de pluie et intensité).

# Vers un outil pour la vigilance des crues karstiques en contexte méditerranéen

*Application au bassin de l'Agly (Aude, Pyrénées-Orientales)*

Perrine Fleury, Jean-Christophe Marechal  
[p.fleury@brgm.fr](mailto:p.fleury@brgm.fr)  
[jc.marechal@brgm.fr](mailto:jc.marechal@brgm.fr)

BRGM Montpellier  
 1039 rue de Pinville  
 34 000 Montpellier



Les prévisionnistes se heurtent à la singularité de fonctionnement des systèmes karstiques méditerranéens, compliquant l'élaboration de la vigilance en période d'épisode de pluie intense. Selon son remplissage, le karst écrête ou amplifie la crue. Le karst des Corbières impacte ainsi le bassin de l'Agly.

## Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

Le bassin de l'Agly a connu de très fortes crues avec d'importants dommages (rupture de digues en mars 2013 notamment). Le SMBVA et le BRGM réalisent ainsi un projet de recherche (2019-2020) pour comprendre et caractériser le fonctionnement des crues de l'Agly afin de permettre leur prévision.

## Résultats

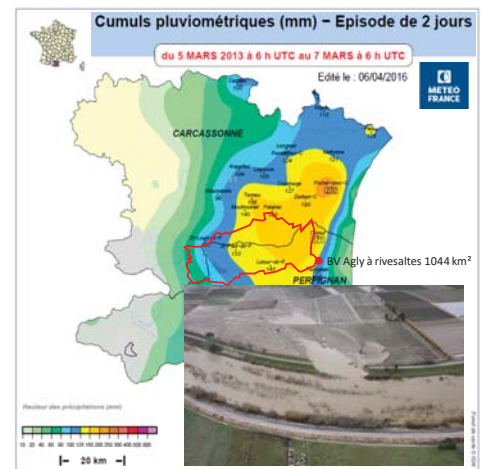
En fonction de l'état initial des systèmes, le karst possède ou non des capacités d'écrêtage. Une méthodologie de caractérisation du fonctionnement hydrologique de ces systèmes en crue a été développée par le BRGM (Nîmes, Lez notamment). Il repose sur le suivi en continu des niveaux dans le karst en un point représentatif de son remplissage.

Le suivi des niveaux du karst permet de caractériser avant un épisode de pluie ses capacités d'écrêtage. C'est la relation Pluie – remplissage du karst qui domine le comportement du système. Une fois le karst saturé, on caractérise la relation Pluie-Débit du cours d'eau.

## Applications

Si les données le permettent, ce projet pourrait conduire à la mise en place d'un outil opérationnel de type abaque qui permettra au Service de Prédiction des Crues Méditerranée-Ouest d'approcher les réponses du système en temps réel et améliorer – en temps réel - la vigilance quant aux risques avant un épisode de pluie.

Nous proposons, à ce stade d'avancement du projet, la réalisation potentielle d'un abaque. Celui donné à titre d'exemple à droite représente dans sa partie inférieure, le remplissage des sols et du karst et dans sa partie supérieure, la relation Pluie – Débit, avec une prise en compte de l'intensité des pluies (si les chroniques de pluie et de débit le permettent).



Episode de crue de mars 2013

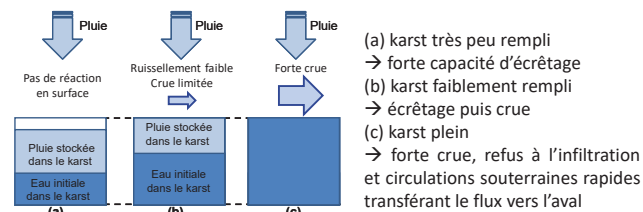
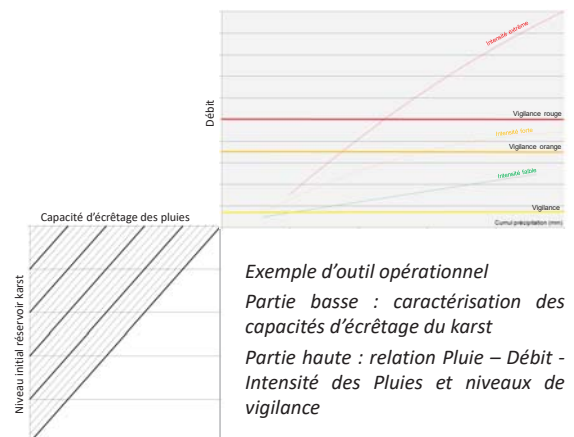


Schéma de fonctionnement hydrologique selon le remplissage initial du karst



Pour en savoir plus : Rapport BRGM : RP-65248-FR, Fleury et al., 2015

**Assises Nationales des Risques Naturels**  
**Montpellier, 25-26 mars 2019**  
**Appel à posters**

**Titre :** Vers une meilleure appropriation des cartes d'aléas

**Thème :** « Une Implication de tous les acteurs dans la prévention des risques naturels »

**Auteurs :** CÉLINE PERHERIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) / Direction Eau, mer et fleuves  
155, rue Pierre Bouguer - BP 5 - 29 280 Plouzané  
Tel : 02 98 05 76 53  
Celine.Perherin@cerema.fr

**Mots-clés :** Cartographie, concertation, aléas inondation, submersion marine, recul du trait de côte, évaluation des politiques publiques.

**Résumé :**

L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) « prioritaires », définis suite à la tempête Xynthia de 2010, a provoqué des débats, souvent conflictuels, entre l'État et les collectivités territoriales au sujet des cartes d'aléas submersion marine ou recul du trait de côte. Élaborées dans un objectif précis de prise en compte des risques dans l'urbanisation, les cartes d'aléas sont loin d'être seulement un état de la connaissance ; elles s'insèrent dans une procédure spécifique pilotée par l'État. Une recherche doctorale a été menée à l'Université de Bretagne Occidentale entre 2014 et 2017 à partir d'une étude par questionnaire menée au niveau national et d'une analyse d'entretiens réalisés dans 4 études de cas : le Marquenterre – Baie de Somme (80), les Pays Bigouden et Fouesnantais (29), la Presqu'île de Guérande – Saint-Nazaire (44) et l'île de Ré. Ces travaux portent sur la compréhension du processus de construction des cartes d'aléas littoraux, réalisées majoritairement dans le cadre de l'élaboration de PPR. Ils analysent les facteurs influençant cette cartographie à partir de ce que représentent les cartes d'aléas pour chaque acteur.

Les résultats de cette recherche mettent en évidence que les études d'aléas sont peu issues des connaissances territoriales et abordées sous un angle expert complexe. Les présentations des études d'aléas sont majoritairement techniques et informatives. Les acteurs locaux s'approprient ainsi difficilement les nouvelles connaissances sur les aléas littoraux. La forte présence des aspects techniques et la mécanique d'élaboration du zonage réglementaire conduisent alors à une cristallisation des débats des PPRL sur la cartographie des aléas. L'absence d'un diagnostic partagé sur les aléas complique ainsi l'élaboration d'une stratégie locale de prévention des risques.

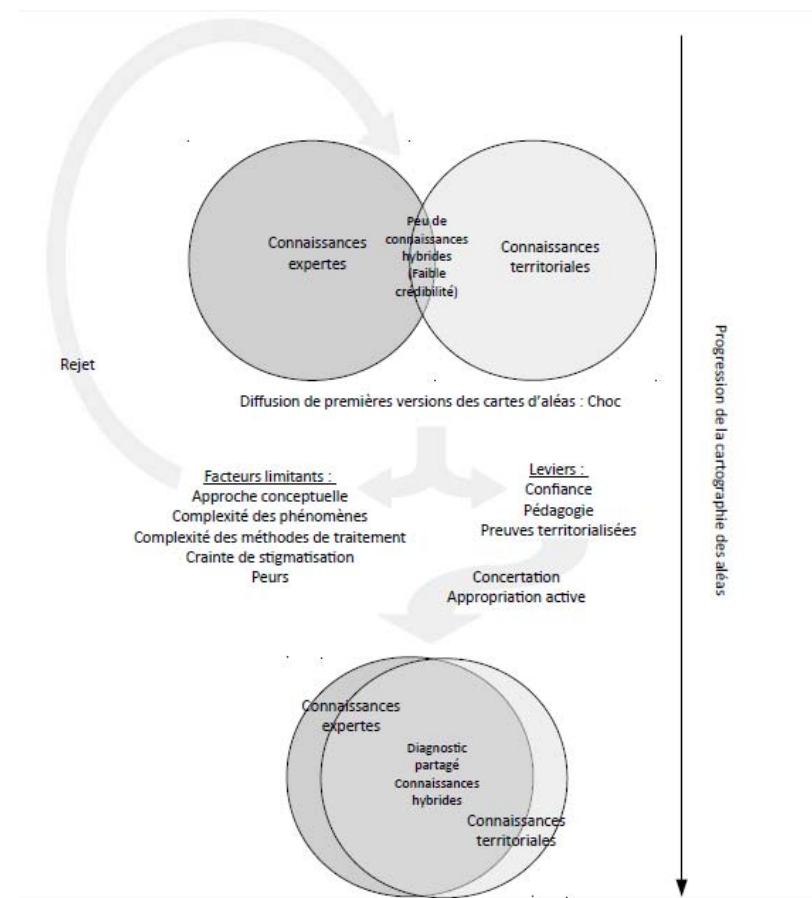


Fig. La concertation, moteur de l'hybridation des connaissances et de l'appropriation des résultats (Perherin, 2017)

Une meilleure connaissance du processus et des freins à un diagnostic partagé entre l'État et les collectivités, mais aussi plus largement avec la population locale, ouvre des perspectives d'amélioration des pratiques actuelles de cartographies d'aléas. Cette amélioration pourra se faire grâce aux offres de formation proposées le Cerema notamment à l'IFORE, de missions d'assistance auprès de l'État et des collectivités, mais aussi par le biais de méthodes participatives permettant une appropriation active des connaissances scientifiques et territoriales par l'ensemble des acteurs.

# Vers une meilleure appropriation des cartes d'aléas...

... et une meilleure efficacité des PPRL

Céline Perherin  
Celine.Perherin@cerema.fr

Cerema Eau, mer et  
fleuves  
Centre d'études et d'expertise sur les risques,  
l'environnement, la mobilité et l'aménagement



## Problématique opérationnelle :

Comment limiter les conflits entre acteurs lors des cartographies d'aléas littoraux ?

Comment améliorer l'efficacité des Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) ?

### Problématiques de recherche - Méthodes

- Mieux comprendre les processus de cartographie des aléas (méthodes, acteurs impliqués...)
- Identifier ce que représentent les cartes pour chaque acteur et ce qui les influence

Un retour d'expérience des PPRL prioritaires définis suite à Xynthia possible grâce à :

- une enquête par questionnaire nationale,
- une analyse d'entretiens réalisés dans 4 études de cas.

### Un résultat sur la construction des connaissances collectives

- Des études d'aléas abordées sous un angle expert complexe ;
- Un « choc » pour les acteurs locaux à la sortie des cartes ;
- Une appropriation difficile des connaissances pour les acteurs locaux ;
- Une cristallisation des débats des PPRL sur les cartes d'aléas ;
- La concertation : source d'hybridation des connaissances.

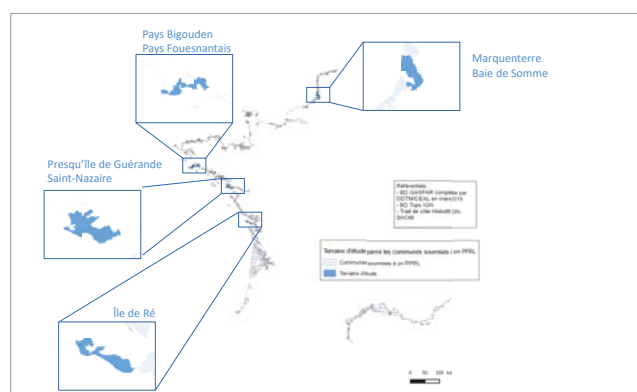
### Applications

Ce diagnostic permet une amélioration des cartographies d'aléas réalisées dans le cadre des PPRL grâce à :

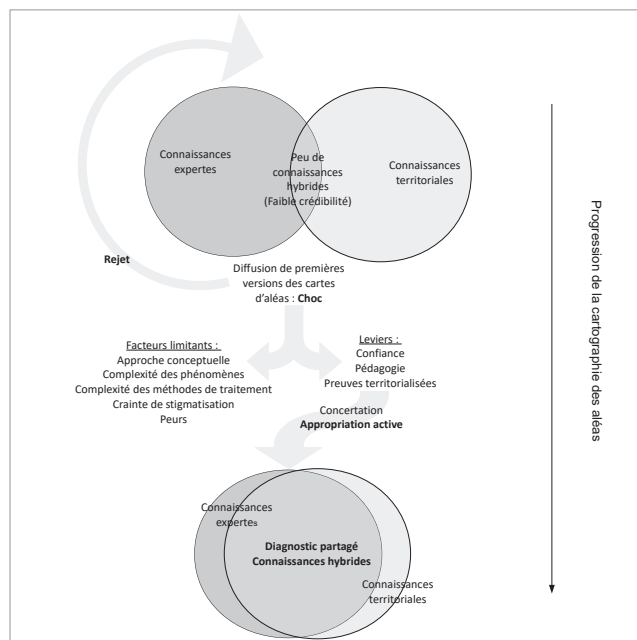
- La formation (IFORE...)
- Des missions d'assistance auprès des services de l'État et des collectivités.

#### Pour en savoir plus :

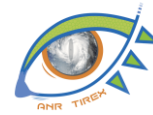
Céline Perherin. La concertation lors de la cartographie des aléas littoraux dans les Plans de Prévention des Risques : enjeu majeur de prévention. Géographie. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2017. Français.



Terrains d'étude retenus pour les études de cas – Céline Perherin



La concertation : moteur de l'hybridation des connaissances et de l'appropriation des résultats – Céline Perherin



Proposition Poster ANRN 2019 – UMR LGP

## Assises Nationales des Risques Naturels

25 & 26 Mars 2019 – Montpellier

### Proposition de Poster Scientifique

#### **RECITS D'ADOLESCENTS SUR LA GESTION DE CRISE ET POST-CRISE IRMA A SAINT-MARTIN : L'APPORT DE LA CARTOGRAPHIE PARTICIPATIVE**

MOATTY Annabelle\*, GRANCHER Delphine, VIRMOUX Clément, CAVERO Julien

*Laboratoire de Géographie Physique, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR 8591 CNRS*

*1 place Aristide Briand, 92195 Meudon, France*

\*Auteur contact

Le 5 septembre 2017, le cyclone Irma a dévasté les îles de Saint-Martin et Saint-Barthélemy. Le cyclone de catégorie 5, le plus puissant ayant touché ce territoire, a laissé derrière lui des dégâts très importants (bâtiments, infrastructures et réseaux impactés à plus de 75 %) et la population dans un état d'insécurité et de risque sanitaire important. Les travaux présentés ici sont issus de l'ANR TIREX (Transfert des apprentissages de Retours d'EXpériences scientifiques pour le renforcement des capacités de réponse et d'adaptation individuelles et collectives dans un contexte de changement climatique, Petites Antilles du Nord - saison cyclonique 2017) dont l'objectif est d'analyser les impacts et de renforcer le suivi de la reconstruction territoriale, en favorisant l'analyse comparative entre territoires du Nord des Antilles, et en formalisant des méthodes de retour d'expérience scientifique continu.

Nous proposons dans ce poster de retracer la chronologie de la crise et des premiers mois de la gestion post-cyclone à partir de données acquises via un protocole de cartographie participative réalisé en classe de collège et lycée. Ces données ont été collectées lors de 2 missions de terrain qui ont eu lieu à Saint-Martin aux mois d'octobre et novembre 2017 et 2018 (7 classes soumises au protocole, soit environ 140 élèves). L'objectif de ce travail est de comprendre le vécu des adolescents ainsi que leur perception de cette crise et de la gestion qui a été mise en œuvre par différentes catégories d'acteurs (institutions, élus, membres d'une communauté, familles...). Un effort important a été effectué pour intégrer au maximum les composantes temporelles des informations qui ont ensuite été intégrées dans un SIG dynamique. Ce travail autorise une compréhension et une visualisation spatio-temporelle (WebMap sous ArcGis Online) des actions mises en place pour faire face à la crise et en sortir. Les principaux résultats traitent des causes et conséquences des discordances entre les informations officielles et le « ressenti » des adolescents ainsi que des disparités territoriales.

# Victimes, Acteurs et Témoins : les adolescents à Saint-Martin après Irma

Alimenter les RETEX post-événement par les récits d'adolescents

MOATTY Annabelle, [amoatty@yahoo.fr](mailto:amoatty@yahoo.fr)  
 GRANCHER Delphine, [delphine.grancher@lgp.cnrs.fr](mailto:delphine.grancher@lgp.cnrs.fr)  
 VIRMOUX Clément, [clement.virmoux@lgp.cnrs.fr](mailto:clement.virmoux@lgp.cnrs.fr)  
 CAVERO Julien, [julien.cavero@lgp.cnrs.fr](mailto:julien.cavero@lgp.cnrs.fr)

Laboratoire de Géographie Physique  
 UMR 8591  
 CNRS, Univ. Paris 1 Panthéon Sorbonne, UPEC  
 1 place Aristide Briand, 92195 Meudon



## Problématique opérationnelle :

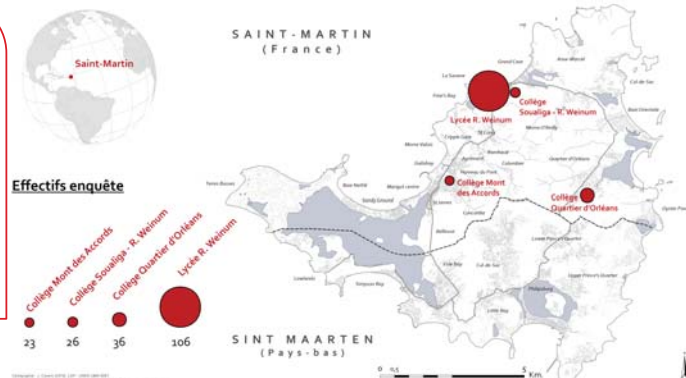
Les retours d'expérience intègrent souvent la participation citoyenne dans le relèvement : rôle des jeunes mineurs ?

## Problématiques de recherche - Méthodes - Objectifs

**Problématique scientifique :** Comment les récits des adolescents permettent de compléter les méthodes de RETEX traditionnelles ?

**Méthodes :** Les données ont été collectées lors de 2 missions de terrain à Saint-Martin (octobre et novembre 2017 et 2018). 191 élèves de collège et lycée ont été soumis à un questionnaire de 66 questions.

**Objectif :** Caractériser les actions des adolescents dans la sortie de crise Irma.



## Résultats

### Les adolescents, victimes mais acteurs...

Suite au passage du cyclone, les écoles ont été réouvertes au bout de 2 mois et nombre d'enfants ont été évacués hors de l'île (Antilles et métropole principalement).

La majeure partie des actions effectuées par les adolescents concerne le nettoyage des rues et maisons (35 %). Ils ont également effectué des distributions de vivres (16 %) et des gardes d'enfants (13 %).

### ... principalement dans des logiques d'entraide familiale :

Les adolescents ont en majorité aidé dans un cercle très restreint de leur entourage (65 % leur famille, 60 % leurs voisins, 33 % les gens de leur quartier, et seulement 16 % ceux d'un autre quartier).

Ils ont été sollicités essentiellement par leurs familles (26 %) et proches (25 %), mais pas uniquement puisque 30 % se sont investis d'eux-mêmes, et 6 % sur demande des autorités.

Destructions dans une école à Cul-de-Sac, Nov. 2017



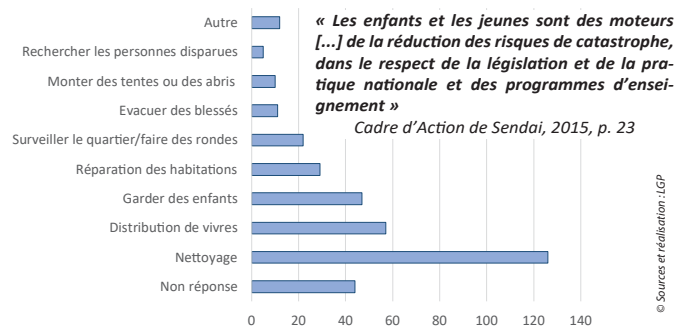
La Croix-Rouge distribue de l'eau, Sept. 2017



Cité Scolaire, Nov. 2018



Collège de Quartier d'Orléans, Nov. 2018



« Les enfants et les jeunes sont des moteurs [...] de la réduction des risques de catastrophe, dans le respect de la législation et de la pratique nationale et des programmes d'enseignement »  
 Cadre d'Action de Sendai, 2015, p. 23

A quelles actions de solidarité as-tu participé après Irma ? (N=191)

## Applications

- Les données collectées via les récits des adolescents renseignent sur les lacunes de l'action publique post-catastrophe.

- Les adolescents sont un « angle mort » des plans de gestion, les actions qu'ils réalisent sont pourtant essentielles dans le processus de relèvement, depuis l'échelle du foyer jusqu'à celle des quartiers.

Pour en savoir plus : Projet ANR Tirez ANR-18-OURA-0002

© Sources et réalisation : LGP



# Vulnérabilité physique des structures face aux risques naturels

## Vieillesse des structures - Analyse multi-risque

**Jaafari C., Langlade T., Grange S., Bertrand D., Delhomme F.**

*Affiliation (tous les auteurs) : Univ. Lyon, INSA-Lyon, GEOMAS, F-69621, Villeurbanne cedex, France 20 Avenue Albert Einstein, 69100 Villeurbanne (France).*

*Auteur référent : david.bertrand@insa-lyon.fr*

Dans un contexte de réchauffement global de la planète, une recrudescence des phénomènes naturels dangereux est observée (tempêtes, sécheresses, inondations, *etc.*). En particulier, la fréquence et l'intensité des aléas naturels d'origine gravitaire tels que les chutes de blocs rocheux, les avalanches de neiges, les crues torrentielles, augmentent de manière sensible. En outre, les récents effondrements d'ouvrages (pont Morandi à Gênes, immeubles Marseillais) démontrent que le vieillissement des structures de génie civil (conditions hydriques, attaques chimiques, fluage, carbonatation, corrosion, *etc.*) peut impacter de manière non négligeable leurs caractéristiques mécaniques et pose la question de l'évolution du niveau de sécurité des personnes lorsque survient un accident sur une structure ayant subi une perte de capacité due à son vieillissement. Qui plus est, dans certaines configurations géographiques, des aléas naturels peuvent se produire successivement, voire de façon simultanée, et affecter une zone urbanisée engendrant des dommages structurels importants. On se place alors dans un contexte multi-aléa (ou contexte multi-risque) où l'évaluation du risque nécessite des modèles de calcul de structures robustes et efficaces en temps de calcul pour pouvoir être traité, *a fortiori* de manière stochastique.

A l'INSA Lyon, deux axes de recherches sont en cours sur ces problématiques. Tout d'abord, un premier axe (i) concerne le développement de simulations basées sur des approches par éléments finis et formulées à partir d'hypothèses permettant d'optimiser les temps de simulation. Ces modèles de calcul permettent d'effectuer des analyses stochastiques et peuvent donc être utilisés dans le cadre d'approches d'analyse de risque. Le deuxième axe (ii) s'intéresse à l'impact du vieillissement des structures sur leur performance face à un accident (par exemple un séisme). La structure est ainsi étudiée à des échelles de temps très dissemblables. L'une est liée au vieillissement (période longue) et l'autre à l'accident (période courte). La procédure consiste à simuler l'évolution des propriétés mécaniques jusqu'à l'accident et ensuite simuler la réponse dynamique de la structure afin d'évaluer sa capacité à résister. Pour formuler les modèles numériques (décrivant des phénomènes comme les déformations de retrait, le fluage, les variations de température et l'endommagement avec le caractère dynamique du séisme), une étude au laboratoire a été initiée sur deux groupes de structures en béton armé, testés à l'aide d'essais pseudo-dynamique, l'un coulé en condition endogène et l'autre en condition non-endogène, afin d'évaluer l'effet de l'endommagement initial dû au retrait.

Ces deux axes permettent de traiter tous les aspects allant de l'échelle du matériau à l'échelle de la structure avec des échelles de temps allant de la vie de l'ouvrage à l'accident. La physique impliquée (non linéarité matérielle, interactions de contact-impact, évolution temporelle dans le temps des propriétés mécaniques, *etc.*) est décrite de manière réaliste tout en conservant une bonne ergonomie pour permettre un transfert vers l'ingénierie.



# Vulnérabilité physique des structures face aux risques naturels

## Viellissement des structures - Analyse de risque

Jaafari Chaimaa, Langlade Thomas,  
Grange Stéphane, Bertrand David,  
Delhomme Fabien

Emails : [prenom.nom@insa-lyon.fr](mailto:prenom.nom@insa-lyon.fr)

Univ. Lyon, INSA-Lyon, GEOMAS, F-69621, Villeurbanne cedex, France 20  
Avenue Albert Einstein, 69100 Villeurbanne (France)

Labo. **GEOMAS**

**INSA** INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
LYON

Analyse dans un contexte **multi-risque** et simulation du **vieillissement** des structures  
Développement d'outils de **modélisation et d'expérimentation** : Description de la réponse **dynamique**  
**des structures** soumises à des aléas naturels (**séisme et impact**).

### Problématiques recherche - méthodes – objectifs

Développement de **modèles numériques optimisés** pour l'analyse de risque

Prise en compte du **vieillissement des structures** et évaluation des performances face à un accident

Modélisation par **éléments finis enrichis**

Évolution temporelle des propriétés mécaniques

Réponse dynamique des structures

Sollicitations sous séisme et impact

Expérimentations (Essais d'impact, **pseudo-dynamique**)

**Requalification** des ouvrages

Évaluation de la **capacité** à résister

### Résultats

Caractérisation de l'**état de dommage** local et global

Outils d'aide à la **décision**, au **dimensionnement**, à la requalification d'ouvrages

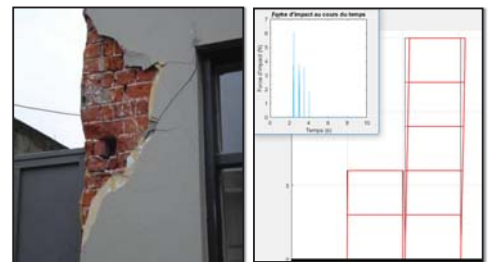
Développement d'outils de **calculs ergonomiques ad hoc** pour l'**ingénierie**.

### Applications

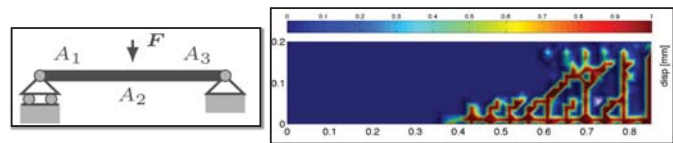
**Analyse de risques - Dimensionnement** de structures béton armé/acier type bâtiments, ponts, etc.

Pour en savoir plus :

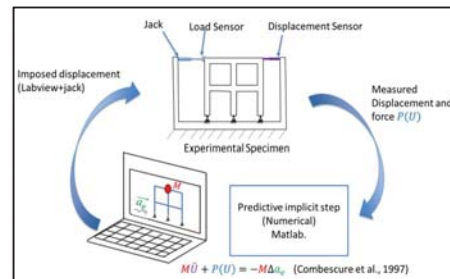
<http://geomas.insa-lyon.fr/>



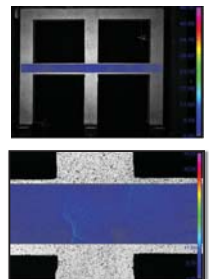
Entrechoquement de bâtiments sous séisme (Christchurch, New Zealand) (Cole, 2011) et simulation par **éléments finis multi-fibres**



Endommagement d'une poutre en **béton armé** chargée en flexion



Essai **pseudo-dynamique**  
Portique en béton armé vieilli



Corrélation d'images  
Ouverture de fissures

### Dalle Eiffel

Plateforme instrumentée

- Surface 1000 m<sup>2</sup>
- 9.50 m de haut
- Dalle de réaction 20x18m<sup>2</sup> avec portiques
- Vérins (200t)
- Etc.



# Vulnérabilités littorales et justice environnementale

## Analyse interdisciplinaire et comparaison interterritoriale

---

Aurélie Arnaud<sup>1</sup>, Maître de Conférences en Géographie et en Aménagement, Aix-Marseille  
Université, LIEU

Cécilia Claeys, Maître de Conférences en Sociologie, Aix-Marseille Université, LPED

Nathalie Marcot, Ingénieure, BRGM, Marseille

Aïssatou Faye, Statisticienne, Aix-Marseille Université, LPED

Xavier Desrousseaux, Géomaticien, Aix-Marseille Université, LIEU

Ce poster présente les travaux réalisés dans le cadre du projet de recherche "VULITEC" financé par la fédération de recherche ECCOREV. L'objectif de VULITEC est de développer une méthodologie pour produire des indicateurs d'inégalité (ou égalité) environnementale mobilisables dans la réalisation d'atlas cartographiques des vulnérabilités socio-environnementales. La notion d'inégalité environnementale désigne des situations de cumuls entre vulnérabilités sociales (dans toutes leur diversité socioéconomique, culturelle, démographique), vulnérabilités physiques (ex. densité de population) et vulnérabilités environnementales (exposition à des risques naturels ou anthropiques et/ou des environnements dégradés) (Deldrève, 2015).

Ce projet s'inscrit dans un processus d'aide à la décision dans le domaine de la prévention des risques et d'une meilleure articulation de cette dernière à la réduction des inégalités socioéconomiques, culturelles et territoriales.

Pour ce faire, ce projet a développé des outils d'analyse interdisciplinaires visant une meilleure prise en compte des processus de cumul ou inversement de compensation entre les différentes formes de vulnérabilités des populations: inégalités socioéconomiques, culturelles et juridiques, ségrégations ethno-raciales, habitat précaire...

Sa méthodologie interdisciplinaire associe géographie-aménagement, sociologie et géologie. Elle est basée sur des analyses statistiques et spatialisées et des analyses spatiales permettant la construction d'indicateurs prenant en compte les différentes formes de vulnérabilité. Les données mobilisées sont issues des recensements INSEE (données carroyées), du BRGM (cartes d'aléa, recul du trait de côte...), et des cartes réglementaires PPR (Plan de prévention des risques).

Cette méthodologie est mise à l'épreuve d'une comparaison entre plusieurs terrains situés sur les littoraux français méditerranéens, atlantiques et antillais.

L'atlas « justice environnementale » produit permet ainsi d'observer des corrélations spatiales entre vulnérabilités. Deux principales tendances sont dégagées : 1- Dans les territoires métropolitains étudiés les zones de grandes vulnérabilités environnementales ne correspondent pas aux zones de vulnérabilités sociales, 2- Dans les territoires ultra marins étudiés les zones de vulnérabilités environnementales tendent à aussi être des zones de vulnérabilités sociales.

Si ces résultats sont à modérer au regard des données collectées parfois hétérogènes (certaines données sur l'érosion et sur les aspects sociodémographiques sont produites de manières différentes ou à des échelles différentes) ou incomplètes (par exemple des territoires ne possèdent pas de données sur l'aléa érosion). Ils tendent néanmoins à conforter les résultats des enquêtes sociologiques qualitatives réalisées par les auteurs lors de précédents programmes de recherche, auprès des décideurs et des populations locales des zones étudiées (projets VALSE financé par la Région PACA, VALOLITTO et GESPAR50 financés par la Fondation de France).

---

<sup>1</sup> Auteure contact. Aurélie Arnaud: aurelie.arnaud@univ-amu.fr

# Vulnérabilités littorales et justice environnementale

## Analyse interdisciplinaire et comparaison interterritoriale

ARNAUD Aurélie (LIEU-AMU) – [aurelie.arnaud@univ-amu.fr](mailto:aurelie.arnaud@univ-amu.fr)  
 CLAEYS Cécilia (LPED-AMU)  
 MARCOT Nathalie (BRGM-Marseille)  
 FAURE-VASSAL Geneviève (CEREMA – Aix-en-Provence)



L'objectif du projet VULITEC, financé par la fédération de recherche ECCOREV, est de développer une méthodologie pour produire des indicateurs d'inégalité (ou égalité) environnementale mobilisables dans la réalisation d'atlas cartographique des vulnérabilités socio-environnementales.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

La notion d'inégalité environnementale désigne des situations de cumuls entre vulnérabilités sociales (dans toutes leur diversité socioéconomique, culturelle, démographique), physiques (ex. densité de population) et environnementales (exposition à des risques naturels ou anthropiques et/ou des environnements dégradés). Ce projet s'inscrit dans un processus d'aide à la décision dans le domaine de la prévention des risques et d'une meilleure articulation de cette dernière à la réduction des inégalités socioéconomiques, culturelles et territoriales.

Notre méthodologie interdisciplinaire associe géographie-aménagement, sociologie et géologie. Elle est basée sur des analyses statistiques spatialisées et des analyses spatiales permettant la construction d'indicateurs prenant en compte les différentes formes de vulnérabilité. Les données mobilisées sont issues des recensements INSEE, du BRGM (cartes d'aléa, recul du trait de côte...), et des cartes réglementaires PPR. Cette méthodologie est mise à l'épreuve d'une comparaison entre plusieurs terrains français situés sur les littoraux méditerranéen, atlantiques et antillais.

### Résultats

L'atlas « justice environnementale » permet ainsi d'observer des corrélations spatiales entre vulnérabilités. Deux tendances apparaissent : 1- les territoires métropolitains où les zones de grande vulnérabilités environnementales ne correspondent pas aux zones de vulnérabilités sociales, 2- les territoires ultra marins où les zones de vulnérabilités environnementales se cumulent parfois avec les zones de vulnérabilités sociales.

### Applications

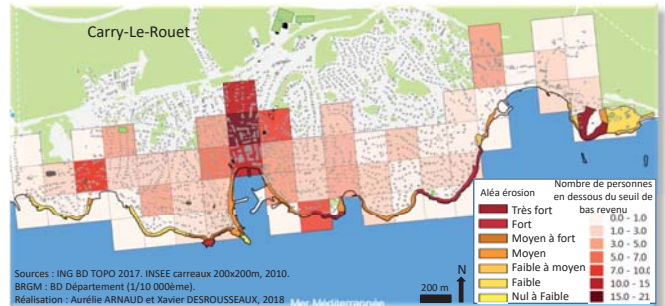
Le SIG constitue un outil de communication entre les disciplines, de connaissance du territoire en permettant de croiser les données, et d'aide à la décisions pour les acteurs des territoires.

#### Pour en savoir plus :

Nous remercions Aissatou FAYE, statisticienne et Xavier DESROUSSEAUX, géomaticien. Ils ont travaillé en tant que stagiaires puis en tant qu'ingénieurs sur cette recherche.

### Extrait de l'atlas « justice environnementale »

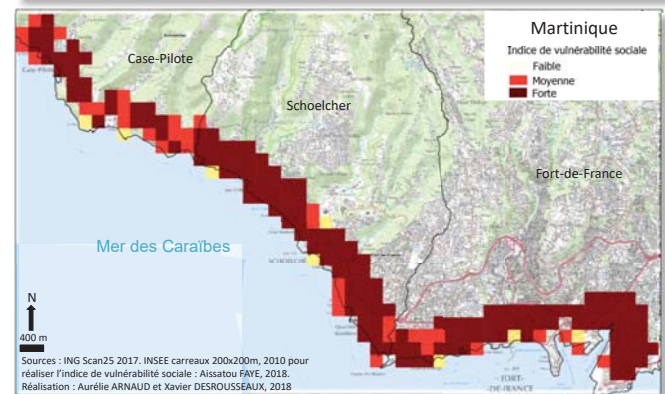
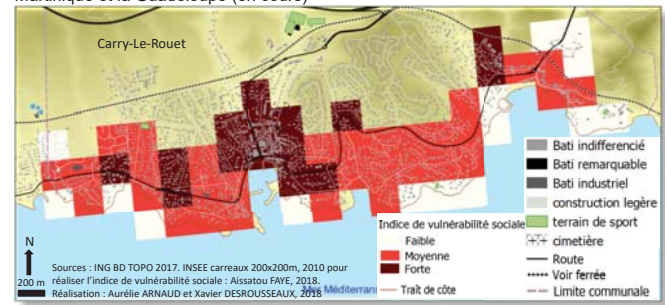
Ex. Variable aléa érosion du BRGM superposée à une variable sociale



### Vers un indice de vulnérabilité environnementale littorale :

Indice de vulnérabilité sociale : Réalisation d'ACM avec 3 classes significatives sur les variables socio-démographiques de l'INSEE

Indice de vulnérabilité environnementale littorale : Réalisation d'ACM avec 3 classes significatives intégrant l'aléa pour Carry, Biarritz et Lacanau ; intégrant le PPR pour la Martinique et la Guadeloupe (en cours)



**Assises Nationales des Risques Naturel**  
**Montpellier, 25 et 26 mars 2019**

**Proposition d'un poster scientifique**

**Titre :** "WUI-Net : vers un réseau de recherche participative multi-acteurs national et international pour la modélisation intégrée aléa/vulnérabilité et la gestion du risque d'incendie de forêt aux interfaces forêt-urbain"

**Auteurs:** Eric Maillé, Renaud Barbero, Irstea Aix en Provence, Unité de Recherche RECOVER/EMR  
Michel Bacou, CEREMA Aix en Provence, DREC/Service Vulnérabilité et Gestion de Crise  
Nathalie Marçot, BRGM, Direction Régionale Provence Alpes Côtes d'Azur, **Marseille**.

**Résumé:**

Contexte : Le risque incendies de forêt est l'un des risques naturels le plus impacté par le changement global, dans ses diverses composantes, par le fait que celui-ci affecte à la fois l'aléa et la vulnérabilité des territoires et du bâti à cet aléa. La gestion anticipée du risque aux différentes échelles requiert la représentation globale de l'interaction entre l'aléa et la vulnérabilité, ainsi que la spécification d'outils d'aide à la décision de gestion territoriale permettant la représentation de l'impact sur le risque global de différents scénarios de gestion. Les interfaces habitat-forêt (WUI) étant le lieu de l'interaction la plus complète entre l'aléa incendie (incluant l'aléa d'ignition) et les diverses composantes de la vulnérabilité (anthropique, écosystémique, résiliences, etc.), celles-ci constituent un objet privilégié d'investigation et d'expérimentation.

Objectif structurant et opérationnel : L'objectif du réseau WUI-Net est le rassemblement de la communauté académique et opérationnelle nationale en charge de l'amélioration de la connaissance et de la gestion du risque incendie et de ses effets induits (érosion des sols, déstabilisation géo-gravitaire et glissements de terrains, chutes de blocs par exemple) en incluant notamment la réduction de la vulnérabilité. La généralité du modèle proposé repose sur la confrontation d'approches et de modèles sectoriels particuliers aux contextes régionaux et leur mise en interopérabilité, conceptuelle dans un premier temps, puis à terme opérationnelle pour la production d'outils d'aide à la décision, à l'instar d'expériences déjà conduites notamment dans le domaine plus restreint de la cartographie des interfaces. Les objectifs initiaux du réseaux sont d'une part l'inventaire des démarches de réduction de la vulnérabilité et des modèles aléa-vulnérabilité existants et leur positionnement dans un cadre conceptuel global, notamment par dans le cadre de séminaires nationaux et internationaux, et la définition d'un programme des recherches requises pour la production d'un modèle spatialisé d'évaluation du risque d'incendie intégrant l'aléa et la vulnérabilité, en vue de la spécification et du développement d'outils d'aide à la décision de gestion du risque incendie aux interfaces fondés sur un modèle global de risque articulant l'aléa et la vulnérabilité et leur évolution dans l'espace et dans le temps. Une grande ouverture au niveau international est opérée pour l'élargissement de l'assiette des références utilisées sur la base de réseaux déjà existants (anciens projets Européens – Fireparadox, FUME, etc. ; projets en gestation Interreg EpyRis, Maritimo ; conférence ForestFire...).

Applications potentielles et acteurs impliqués : l'implantation d'outil d'aide à la décision de gestion intégrée du risque d'incendie aux interfaces peut se faire soit directement au sein des institutions en charge de l'aménagement des territoires et de la gestion des risques (collectivités, services décentralisés, etc.), soit valorisée auprès d'entreprises du secteur concurrentiel (bureaux d'étude) intégrant les productions du modèle à leur prestation.

# WUI-Net

## Réseau international sur le risque d'incendie aux interfaces forêt-urbain

Eric Maillé, Renaud Barbero,  
Michel Bacou  
Nathalie Marçot  
[eric.maille@irstea.fr](mailto:eric.maille@irstea.fr), [michel.bacou@cerema.fr](mailto:michel.bacou@cerema.fr),  
[n.marcot@brgm.fr](mailto:n.marcot@brgm.fr)

Irstea, UR RECOVER/EMR, Aix en Provence  
CEREMA,  
BRGM



### Problématique opérationnelle, question posée :

La gestion du risque d'incendie aux interfaces forêt-urbain (WUI) doit s'appuyer sur un transfert efficace des résultats de la recherche auprès des opérationnels ainsi que sur la valorisation des connaissances d'experts.

### Problématiques de recherche - méthodes - objectifs

**Un projet structurant pour un objet transdisciplinaire :** Les interfaces habitat-forêt (WUI) sont le lieu de l'interaction entre l'aléa incendie de forêt et les vulnérabilités territoriales (humaines et naturelles). La recherche pour la modélisation du risque aux interfaces est intégrative, associant plusieurs disciplines de la cindynique, la géographie, l'écologie, l'aménagement.

- Le réseau WUI-NET est un point de rencontre entre la recherche et les gestionnaires.

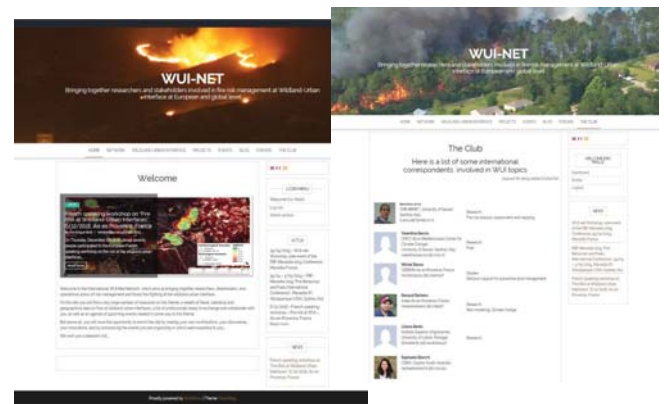


Les motifs de WUI-Net : échanger les méthodes et les résultats des recherches sur les interfaces et favoriser le transfert – Eric Maillé.

### Résultats

- Les rencontres organisées entre chercheurs et gestionnaires du risque impliqués sur la thématique des interfaces (atelier de préfiguration WUI-Net du 06/12/2018, Workshop WUI-Net de la Conférence FBF-Marseille 2019) permettent l'émergence des questionnements de recherche pour une meilleure opérationnalité des modèles

- Vers la spécification d'un programme de recherche-action sur les interfaces, en lien avec les projets émergents (MED-STAR...)

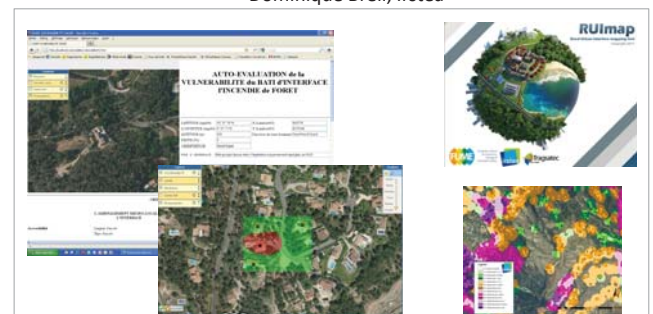


Page d'accueil et page du partenariat de la plateforme WUI-Net – Dominique Breil, Irstea

### Applications

Implémentation des modèles opérationnels d'évaluation spatialisée multi-échelles et multi-temporalités du risque global aléa/vulnérabilité pour :

- L'aide à la décision de gestion des territoires sujets au risque d'incendie (intégration des Plateformes VULNEFEUX, RUI-Map, etc.)
- L'optimisation de la lutte anti-incendie par l'anticipation



Intégration des plateformes VULNEFEUX (DGPR) et RUI-Map – Eric Maillé, Christophe Bouillon, Irstea

Pour en savoir plus :

Plateforme WUI-Net [www.wui-net.irstea.fr](http://www.wui-net.irstea.fr) (en construction. Demandez les droits d'accès à [dominique.breil@irstea.fr](mailto:dominique.breil@irstea.fr))

