

> Jeudi 4 avril

09 h 05 - 10 h 35 Salle Marie Mauron

SESSION PARALLÈLE

- > **SCIENCES DE LA TERRE - Modélisation des aléas naturels et de leurs impacts**  
- Analyse économique des conséquences d'un accident nucléaire

**Présidente : Oona SCOTTI**

Docteure en géophysique

**Nicolas CATHELIN** - Investigations paléosismologiques de la faille de Saint-Montan  
– Terminaison NE du faisceau de faille Cévenol.

**Antoine CHAPON** - Estimation locale et régionale des événements de pluies extrêmes dans un cadre multivarié et non-stationnaire.

**Occitane BARBAUX** - Températures maximales en France au 21<sup>ème</sup> siècle.

**Lisa MAMMARELLA** - Fault displacement hazard on principal fault rupture: probability of occurrence, slip distribution and role of surface geology.

**Rémi HANNOTEL** - Analyse macroéconomique du risque nucléaire.

SUJET DE LA THÈSE

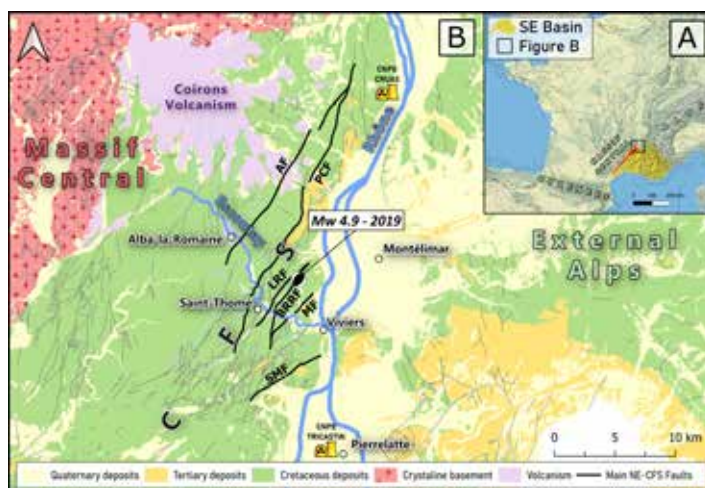
Investigations paléosismologiques de la faille de Saint-Montan  
– Terminaison NE du faisceau de faille Cévenol

Doctorant : Nicolas CATHELIN  
Date du début de la thèse : 04/10/2021  
Laboratoire IRSN : PSE-ENV/SCAN/BERSSIN  
Réfèrent IRSN de la thèse : Stéphane BAIZE  
Direction de la thèse : Jean-françois RITZ/ Géosciences Montpellier, UM2  
École doctorale : Université de Montpellier - GAIA - biodiversité, agriculture, alimentation, environnement, terre, eau - ED 584  
Financement de la thèse : IRSN

Le séisme du Teil (11.11.2019) de Mw 4.9 a produit une rupture de surface de 5km de long avec un déplacement inverse de 1.5 à 13 cm. Cet évènement a réactivé la faille de la Rouvière (LRF), une ancienne faille normale Oligocène (~25 Ma), appartenant à l'un des systèmes de failles les plus importants en France métropolitaine, le système de failles cévenol (CFS). LRF n'était pas connue comme une faille potentiellement active et n'était pas représentée dans la base de données des failles potentiellement actives (BDFA) de l'IRSN. Seules les failles des Cévennes, de Saint-Montan (SMF) et de Marsanne (MF) y étaient répertoriées comme failles potentiellement actives. Cet évènement a soulevé plusieurs questions dont: (1) savoir si LRF et les autres segments de failles du CFS ont été actifs durant le Quaternaire (0-2.5Ma); (2) celle de la réévaluation de l'aléa sismique dans la région étant donné la proximité des centrales nucléaires de Tricastin et Cruas. Ces travaux de thèse visent donc aussi à améliorer la connaissance de l'aléa sismique associée aux failles principales de la région, pour mieux estimer les mouvements vibratoires qui pourraient affecter les installations et impacter leur sûreté.

Pour répondre à ces questions et avec pour objectif d'apporter le cas échéant des informations quantitatives sur l'âge des paléoséismes, leurs mécanismes et leurs magnitudes, des tranchées ont été ouvertes sur LRF ainsi que sur les failles de Marsanne et de Saint-Montan. Plusieurs indices géologiques ont été recherchés pour évaluer l'occurrence de paléoséismes rompant la surface.

Les premières données suggèrent que LRF a effectivement produit au moins une rupture de surface entre 13.5 et 3.3ka et les études sur MF (thèse de C.Thomasset) et SMF (ma thèse) sont en cours. Ces deux thèses sont réalisés en étroite collaboration notamment du côté de l'analyse de terrain. Le travail sur la faille de Saint-Montan met en œuvre principalement l'approche paléosismologique (analyse de tranchées), avec l'aide en amont de cartographie de géophysique de sub-surface, et s'appuie également sur une analyse géomorphologique.



Les résultats préliminaires suggèrent qu'il y a bien eu une activité récente sur MF. En ce qui concerne SMF, les résultats sont moins probants et des études complémentaires sont en cours pour distinguer si les structures superficielles observées dans le quaternaire récent correspondent à des paléoruptures de surface ou s'il s'agit de phénomènes gravitaires et/ou cryo-tectoniques.

**Mots clés :**

géologie, paléosismologie, géomorphologie, quaternaire, failles, séisme.

## SUJET DE LA THÈSE

### Estimation locale et régionale des événements de pluies extrêmes dans un cadre multivarié et non-stationnaire

Doctorant :	Antoine CHAPON
Date du début de la thèse :	01 / 10 / 2022
Laboratoire IRSN :	PSE-ENV / SCAN / BEHRIG
Référent IRSN de la thèse :	Nathalie BERTRAND
Direction de la thèse :	Taha OUARDA / INRS-ETE & Mathieu RIBATET / École centrale de Nantes
Financement de la thèse :	INRS-ETE (Canada)

---

La thèse s'inscrit dans le cadre du traitement de la question 2 « Comment mieux caractériser et modéliser les contraintes générées sur l'installation par des sollicitations ou agressions internes et externes et qui pourraient impacter la sûreté ? » et qui se rattache à l'Enjeu 6 du groupe thématique de Recherche sur les risques naturels qui a pour but de définir des stratégies pour l'évaluation statistique des aléas hydrométéorologiques extrêmes. La thèse vise à quantifier le risque de dépassement de niveaux élevés de pluie en France.

La caractérisation de la pluie extrême de courte durée repose sur une analyse fréquentielle locale en régime stationnaire. Cependant, le rapport AR6 du GIEC fait état d'un consensus général selon lequel le changement climatique d'origine anthropique modifie à l'échelle globale la fréquence et l'intensité des événements extrêmes tels que les inondations.

Les travaux de recherche devraient mener au développement d'un modèle d'analyse statistique locale et / ou régionale de pluies de courtes durées qui prennent en compte les tendances et la variabilité climatique, ainsi que l'aspect multivarié de ces événements. La thèse vise également à développer des approches innovantes pour modéliser les incertitudes reliées aux modèles statistiques, et de développer des méthodes de régionalisation des modèles non-stationnaires et multivariés. L'objectif générale est d'avoir d'une part la possibilité d'estimer les événements extrêmes dans des zones où la mesure sont insuffisantes (ou même inexistantes) toute en ayant la possibilité de conforter des estimations ponctuelles, d'autre part, travailler dans un contexte de changement et de variabilité climatique. L'interaction entre les estimations locale et régionale devrait être immédiate, sans ambiguïté et facilement interprétable. L'étude prévoit la mise en œuvre de la méthodologie qui sera développée sur des sites français.

Le modèle développé est un générateur stochastique permettant de générer des séries temporelles de pluies reproduisant les caractéristiques principales des observations : la distribution marginale, l'autocorrélation et l'intermittence de la pluie. Ce modèle utilise la théorie des valeurs extrêmes, mais modélise aussi les valeurs faibles de pluie et l'absence de pluie. Ce générateur stochastique permet d'obtenir des séries temporelles alternatives aux observations mais statistiquement plausibles, à partir desquelles le risque peut être estimé. Le modèle est pour l'instant développé pour une seule station et dans un cadre stationnaire, mais sera ensuite étendu au cadre spatial et nonstationnaire. Une version paramétrique du modèle est fonctionnelle. Une version remplaçant la majorité des composants paramétriques du modèle par du deep learning sera développée dans les prochains mois.

**Mots clés :** aléas hydrométéorologiques extrêmes, générateur stochastique, variabilité climatique.

## SUJET DE LA THÈSE

### Températures maximales en France au 21<sup>ème</sup> siècle

Doctorante :	Occitane BARBAUX
Date du début de la thèse :	10/10/2022
Laboratoire IRSN :	PSE-ENV / SCAN / BEHRIG
Référent IRSN de la thèse :	Nathalie BERTRAND
Direction de la thèse :	Philippe NAVEAU / CNRS & Aurélien RIBES / Météo France
École doctorale :	Sorbonne Université - Sciences de l'environnement d'Île-de-France - ED 129
Financement de la thèse :	IRSN & Météo France

---

Cette thèse s'inscrit dans le cadre de la question 2 de la stratégie scientifique de l'IRSN « Comment mieux caractériser et modéliser les contraintes générées sur l'installation par des sollicitations ou agressions internes et externes (y compris naturelles) et qui pourraient impacter la sûreté ? » et se rattache à l'Enjeu 6 du Groupe Thématique de Recherche sur les risques naturels qui est « Définir des stratégies pour l'évaluation statistique des aléas hydrométéorologiques extrêmes ». Elle vise à quantifier le risque de dépassement de niveaux élevés de température, à l'échelle d'un site d'intérêt et à l'horizon 2100.

Pour caractériser la température en considérant la non-stationnarité provoquée par le changement climatique, la méthode statistique de Ribes (2020) a été retenue. Elle repose sur une construction bayésienne pour intégrer l'information des modèles climatiques sous forme d'une a-priori, qui est ensuite contrainte par des observations.

Différentes définitions de caractérisation de la température ont également été comparées en contexte de changement climatique. En effet en contexte normal, la caractérisation de cet aléa repose généralement sur une approche probabiliste. Les méthodes utilisées sont généralement adaptées au cadre non-stationnaire, sans changement climatique. Dans ce cas, la quantité d'intérêt est le niveau de retour, qui est équivalent à une température dont la probabilité annuelle de dépassement est fixée. Ainsi, il est nécessaire de choisir une quantité d'intérêt adaptée à la définition d'un niveau de sûreté représentatif de toute une période comme la Fiabilité Équivalente.

Une première application a consisté à appliquer cette méthode sur les trajectoires fournies par les modèles climatiques globaux en contraignant par les observations de stations météorologiques de bonne qualité. Au cours de l'année, l'application de la contrainte par algorithmes MCMC a été modifiée dans le but de gagner en précision et en rapidité. La construction d'une alternative aux intervalles de confiance basée sur la prédictive bayésienne est en cours.

La première application a illustré les difficultés liées à l'application locale d'une méthode reposant sur des outils créés pour l'échelle globale. Il sera ensuite utile d'explorer des méthodes permettant de mieux modéliser la composante locale, ou d'appliquer une correction des biais sur les données. Il est aussi prévu d'explorer des alternatives statistiques pour la construction de l'a priori.

**Mots clés :** statistiques, théorie des valeurs extrêmes, changement climatique, modèles de climat, observations, prédictive, MCMC, Bayésien.

## SUJET DE LA THÈSE

### Fault displacement hazard on principal fault rupture: probability of occurrence, slip distribution and role of surface geology

Doctorante :	Lisa MAMMARELLA
Date du début de la thèse :	01/11/2022
Laboratoire IRSN :	PSE-ENV/SCAN/BERSSIN
Référent IRSN de la thèse :	Stéphane BAIZE
Direction de la thèse :	Paolo BONCIO/Université G. D'Annunzio di Chieti-Pescara
École doctorale :	Università "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara
Financement de la thèse :	IRSN & INGV

---

This study is part of Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis (PFDHA) and aims to contribute towards identifying critical areas for infrastructure development and enhancing our understanding of fault-induced displacements for improved safety assessments. Seismic events pose a significant threat to sensitive facilities such as nuclear power plants, especially when located near active earthquake faults. The approach is particularly relevant for facilities unavoidably positioned along earthquake fault traces or constructed before fault discovery. Together with academia entities, IRSN engaged a long-lasting project from data collection to PFDHA code development. The goal of the approach is to estimate the location and amount of surface rupture, both on the main fault and beyond, on distributed ruptures. The latter point was completed during a former IRSN/Uni. Chieti PhD thesis, and we here focus on the main fault.

The methodological framework of PFDHA can be divided in two parts: 1) surface rupture analysis, which assess the probability of having surface rupture for a site located on principal fault; 2) quantifying the displacement resulting from the ground surface rupture. Here is discussed the first part of the analysis, namely Conditional Probability of Surface Rupture (CPSR), investigated during my first year of PhD research.

It can be adapted to assess critical zones to avoid for infrastructure construction and to estimate the probability of having a surface rupture for a structure located on the main fault. Existing solutions use empirical approach to estimate the probability of occurrence of surface rupture, but they suffer from limitations such as incomplete datasets, biases, and challenges in accounting for diverse fault geometries and tectonic settings.

To address these shortcomings, this research introduces an analytical approach that calls for global fault rupture databases, with the aim to enhance the accuracy of the prediction of the CPSR. We thus incorporate seismogenic crust properties, fault characteristics, magnitude-dependent scaling relations, hypocentral locations, and statistical distributions within the seismogenic crust. Preliminary findings show the influence of earthquake scaling relations on the probability of surface rupture, highlighting the importance of selecting appropriate input scaling relations to reduce model epistemic uncertainty. Also, the main input parameters governing the CPSR curves are represented by the seismogenic depth and the average dip angle.

The next step will involve evaluating the distribution of slip along principal fault and the impact of local geological conditions on the occurrence of principal and distributed ruptures, accounting for structural complexities, stepovers, bends, gaps, and lithology.

**Mots clés :** seismic hazard assessment, probabilistic fault displacement hazard analysis (PFDHA), surface rupture probability, global fault rupture databases, magnitude scaling relations.

## SUJET DE LA THÈSE

### Analyse macroéconomique du risque nucléaire

Doctorant :	Rémi HANNOTEL
Date du début de la thèse :	01/10/2021
Laboratoire IRSN :	PSE-SAN/SESUC/LERN
Réfèrent IRSN de la thèse :	Sophie CETRE
Direction de la thèse :	Mirko WIEDERHOLT / Science Po Paris & Xavier RAGOT / CNRS
École doctorale :	Institut études politiques de Paris – École doctorale de Sciences Po - ED 234
Financement de la thèse :	IRSN

---

Face au risque du dérèglement climatique, la décarbonation de notre économie est devenue un objectif central qui gouverne nos choix énergétiques. Néanmoins, la manière dont les divers risques liés au processus de décarbonation du mix énergétique sont pris en compte soulève des interrogations, notamment en ce qui concerne le risque nucléaire.

Traditionnellement, l'évaluation économique du risque d'accident nucléaire repose sur le calcul de l'espérance des coûts de l'accident, soit la probabilité d'accident multipliée par les coûts associés à un tel évènement. Cette hypothèse, que l'on appelle en économie « la neutralité face au risque » serait justifiée pour des risques de plus petite ampleur, c'est-à-dire ne concernant qu'une partie de la population et pouvant être couverts par le marché de l'assurance. Au contraire, le risque nucléaire étant systémique, il se manifeste par un choc sur le niveau de production électrique et sur l'activité économique en général. Il n'est enfin que très partiellement assurable (Picard, 2013). Dans cette optique, il est essentiel d'intégrer un degré d'aversion au risque pour modéliser des choix d'investissement énergétiques optimaux.

Je développe un modèle théorique d'équilibre général dans lequel le décideur public vise à maximiser le bien-être social en faisant des choix d'investissement entre des capacités pilotables, à savoir nucléaire et thermique, tout en tenant compte du risque d'accident nucléaire. Le décideur prend en considération le comportement des consommateurs et des producteurs dans ses choix d'investissement. L'accident se traduit par un arrêt partiel ou total de la production nucléaire, une augmentation du prix de l'électricité car produite à partir du gaz, entraînant classiquement une diminution de la consommation et du pouvoir d'achat. Pour tenir compte des objectifs de politiques environnementales et de décarbonation du mix énergétique, j'intègre au modèle l'effet des politiques environnementales à travers la taxation du CO<sub>2</sub>.

Mes résultats principaux sont que l'aversion au risque diminue l'investissement nucléaire et occasionne donc un report sur les énergies fossiles. Pour enrayer ce mécanisme défavorable du point de vue climatique et économique, une taxe carbone plus élevée est nécessaire. Autrement dit, à mesure que le degré d'aversion au risque augmente la taxation optimale du CO<sub>2</sub> doit aussi augmenter.

**Mots clés :** économie, environnement, énergie, risque nucléaire, mix électrique, mix énergétique, taxation CO<sub>2</sub>.