



HAL
open science

Livret des thèses 2012

Gauzelin Barbier, Brigitte Dubois

► **To cite this version:**

Gauzelin Barbier, Brigitte Dubois. Livret des thèses 2012. Journée des thèses, pp.1-154, 2012. irsn-04370759

HAL Id: irsn-04370759

<https://irsn.hal.science/irsn-04370759v1>

Submitted on 3 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

Journées thèses 2012

Le Croisic

02 OCTOBRE - 05 OCTOBRE





JOURNÉES DES THÈSES 2012
DU 2 AU 5 OCTOBRE

PROGRAMME

Mardi 2 octobre l'IRSN et ses partenariats en recherche

9h00 : Accueil et introduction - Jacques REPUSSARD, directeur général de l'IRSN

9H30 : SESSION SÛRETÉ

Benoit JOURNE (Université de Nantes), Management de la sûreté des industries à risques

Sylvain CRISTOL (Université de Lille), Apport de a modélisation moléculaire à la compréhension des phénomènes physicochimiques aux interfaces

Romain VANDEPUTTE (doctorant IRSN Cadarache et C3R-Lille), Etude théorique du rôle du bore sur le comportement de l'iode dans le circuit primaire d'un réacteur

10h50-11h20 : pause

Jean-Michel TORRENTI (IFSTTAR), Durabilité des ouvrages de génie civil

Mohamad AL SHAMA (doctorant IRSN FAR et IFSTTAR), Étude du risque de développement d'une réaction sulfatique interne et de ses conséquences dans les bétons de structures des ouvrages nucléaires

Xuan Dung VU (doctorant IRSN et INP Grenoble), Étude du comportement de dalles en béton soumises à un impact : Caractérisation du matériau, Modélisation et Validation

12h40 : déjeuner

14H10 : SESSION ENVIRONNEMENT ET SANTÉ

Patrice MESTAYER (Ecole Centrale de Nantes, IRSTV) Modélisation de l'atmosphère urbaine

Pierre ROUPSARD (Doctorant IRSN), Quantification du dépôt sec des aérosols et de leurs lessivages par la pluie sur différents substrats en milieu urbain

Arnaud QUEREL (Doctorant IRSN), Etude expérimentale analytique du rabattement des aérosols atmosphériques par des précipitations dédiée à la quantification

15H30-16H40 : SESSION POSTERS (DOCTORANTS DE PREMIÈRE ANNÉE)
Liste des posters page 109

SESSION ENVIRONNEMENT ET SANTÉ (suite)

Pierre WEISS (Université de Nantes, Laboratoire d'Ingénierie Ostéo-Articulaire et Dentaire) Biomatériaux et ingénierie tissulaire,

Raphaëlle BESSOUT, Bénéfice thérapeutique d'une injection de cellules souches mésenchymateuses (CSM) sur la réparation des lésions colorectales radio-induites - Rôle du processus inflammatoire

Jean-Victor LACAVE-LAPAULIN, Rôle des Toll-like Receptor (TLR) dans les orientations immunitaires induit par une irradiation abdominale : potentialisation des TLR dans le traitement des lésions radio-induites par les cellules souches mésenchymateuses

18h00 : Conclusion - **Matthieu SCHULER**, directeur de la stratégie et des partenariats de l'IRSN

Intervention de **Roger Fougères**, ancien Vice-président de la Région Rhône-Alpes, délégué à l'Enseignement supérieur et à la Recherche : les assises de l'enseignement supérieur et de la recherche

Cocktail Pause Régionale

Mercredi 3 octobre

SESSION PLÉNIÈRE

8h20 : **Jean Claude MICAELLI** Présentation des recherches en sûreté à l'IRSN
Alexis JINAPHANH, Amélioration de la convergence des sources dans le code MORET par un calcul déterministe de type "Algebraic Collapsing"
Jérémy SABARD, Étude de l'explosion de mélanges diphasiques hydrogène et poussières métalliques
Jonathan GERARDIN, Impact des échanges radiatifs dans le refroidissement des centrales nucléaires sous condition accidentelle
Léticia BUSLIG, Méthodes stochastiques de modélisation de données : application à la reconstruction de données non régulières
10h25 : Pause - Session posters

SESSION PLÉNIÈRE

11h00 : **Jocelyne AIGUEPERSE**, Présentation des recherches en santé à l'IRSN
Clémentine POISSON, Rôle du stress oxydant au niveau hépatique et rénal dans la toxicité de l'uranium après exposition chronique
Ingrid NOSEL, Etude des modulations d'expression génique induites chez l'homme par de faibles doses de rayonnements ionisants
Christelle DURAND, Rôle des cellules souches mésenchymateuses dans la modulation de la douleur viscérale associée à un modèle d'ulcération colorectale radio-induite
12h50 : Déjeuner

SESSION PLÉNIÈRE

14h00 : **Denis BOULAUD** Présentation des recherches en environnement à l'IRSN
Marion JEAMBRUN, L'uranium et ses descendants dans la chaîne alimentaire
Anne VREL, Reconstitution de l'historique des apports en radionucléides et en contaminants métalliques à l'estuaire de la Seine par l'analyse de leur enregistrement sédimentaire
Névénick CALEC, Modélisation des transferts à l'interface de l'atmosphère et des hydrosystèmes continentaux
Guillaume DEPUYDT, Etude expérimentale in situ de l'efficacité de rabattement des aérosols par les pluies
16h00 : Pause

16h30 : SESSION PARALLÈLE EFFETS DES FAIBLES DOSES

Alexandre DEVOS, Exposition chronique de l'huître japonaise au stade précoce de développement à des contaminants industriels rejetés en Manche. Mesure de marqueurs de stress à des niveaux intégrés et moléculaires
Antoine TAILLIEZ, Devenir des radionucléides à l'interface sol-racine et conséquences sur leur transfert aux plantes supérieures. Cas de l'uranium
Nicolas THEODORAKOPOULOS, Impact des radionucléides et des rayonnements sur les populations bactériennes de sols contaminés de Tchernobyl
Guillaume BUCHER, Développements analytiques pour la spéciation de l'uranium chez le poisson *Danio rerio* après exposition chronique

Morgan DUTILLEUL, Étude des réponses évolutives d'un nématode (*Caenorhabditis elegans*) soumis à des polluants

Benoît GOUSSEN, Prise en compte d'un modèle bioénergétique dans un modèle de dynamique adaptative pour une meilleure évaluation des risques écologiques : le cas d'une population de *Caenorhabditis elegans* soumise à divers stress anthropiques

Delphine PLAIRE, Étude de la toxicité de radionucléides pour la reproduction sexuée et les oeufs de résistance de *Daphnia magna* et conséquences pour la dynamique de population dans un environnement fluctuant

16h30 : SESSION PARALLÈLE MODÉLISATION DES MATÉRIAUX

Deyana TCHITCHEKOVA, Comportement à l'échelle atomique des impuretés dans les aciers ferritiques des réacteurs à eau sous pression

Alice DUFRESNE, Étude de la précipitation des hydrures dans les gainages par des approches atomistiques

Shuang WEN, Identification expérimentale de modèles de zones cohésives à partir de techniques d'imagerie thermomécanique

Quoc Tang VO, Imagerie d'essais mécaniques sur des composites à matrice métallique : contribution expérimentale à la validation de méthodes d'homogénéisation et identification de propriétés mécaniques par phases

Nawfal BLAL, Modélisation micromécanique et identification inverse de l'endommagement

19h30 : Dîner

20h20 : Préparation de la contribution des doctorants et post-doctorants aux assises de la recherche et de l'enseignement supérieur (ouvert à tous).

Jeudi 4 octobre

8h20 : SESSION PARALLÈLE : CONFINEMENT, AÉROSOLS

Vincent CESARD, Etude des mécanismes de transfert de nanoparticules au travers d'une barrière de confinement dynamique

Edouard BRUGIERE, Contribution à l'étude du comportement physique des agrégats de nanoparticules sous forme d'aérosols

Loïc COQUELIN, Contribution aux traitements des incertitudes : application à la métrologie des nanoparticules sous forme d'aérosols

Jonathan ALENGRY, Etude numérique et expérimentale des longueurs de bon mélange - Application à l'évaluation de la représentativité des points de prélèvement en conduit

8h20 : SESSION PARALLÈLE : DOSIMÉTRIE, SPECTROMÉTRIE DES NEUTRONS

Julien TAFORÉAU, Développement d'un spectromètre neutrons de haute résolution, utilisant des capteurs CMOS, dédié à des mesures de référence auprès des installations du LMDN : TPR-CMOS

Adrien CHEMINET, Développement d'un système opérationnel de spectrométrie neutron dédiée à la caractérisation de l'environnement radiatif naturel atmosphérique, mise en activité au Pic du Midi

François VIANNA, Développement technique, installation et validation d'une ligne d'irradiation ciblée par faisceau d'ions pour la radiobiologie sur la plate-forme AMANDE

Morgane DOS SANTOS, Modélisation de la topologie des dépôts d'énergie créés par un rayonnement ionisant à l'échelle nanométrique dans les noyaux cellulaires et relation avec les événements précoces radioinduits

10h00 : SESSION POSTERS (DOCTORANTS DE PREMIÈRE ANNÉE)

11H10 : SÉMINAIRE RECHERCHE EXPLORATOIRE

13h00 : déjeuner

17H20 : SESSION PARALLÈLE : GÉOSPHERE

Anaïs MAILLET, Étude géochimique des transformations subies par l'argilite de Tournemire au contact du Fer métal, en contexte in-situ, après une interaction de 10 ans. Approche expérimentale couplée à la modélisation géochimique

David BAILLY, Analyse et modélisation des chroniques hydrométéorologiques, d'écartement des fissures en paroi, et de teneur en eau volumique en champ proche des galeries 1996 et 2003 à la station expérimentale IRSN de Tournemire

Simona SABA, Comportement hydromécanique différé des barrières ouvragées argileuses gonflantes

Camille CHAUTARD, Bioréactivité fer-argile en condition de stockage

Céline ROUX, Etude des mécanismes de transfert des radionucléides dans la nappe phréatique en aval de la fosse T22 du site expérimental de l'IRSN à Tchernobyl

Aurélien BOISELET, Cycle sismique et aléa sismique d'un réseau de failles actives : le cas du rift de Corinthe-Patras (Grèce)

17h20 : SESSION PARALLÈLE : ACCIDENTS GRAVES / INCENDIE

Mélany GOUELLO, Étude de la composition, de la spéciation et de la structure des aérosols multi-composants susceptibles de se former dans le circuit primaire d'un réacteur nucléaire en cas d'accident grave

Adrien CARTONNET, Modélisation des rejets à l'environnement en cas de RTGV

Paul SAPIN, Étude de l'ébullition en masse sur milieu poreux modèle

Marina LASSERRE, Modélisation des phénomènes d'oxydation sous air des gaines de crayons combustibles des centrales nucléaires en cas d'accident de dénoyage de piscine de stockage ou lors d'un accidentel grave

Tan-Trung NGUYEN, Méthodes de correction de pression pour les écoulements diphasiques en milieux poreux

20h30 : Dîner festif Thème Océan 'Cap au Large' - Remise du prix de la recherche exploratoire.

Vendredi 5 octobre

8h30 : SESSION PLÉNIÈRE : ACCIDENT DE FUKUSHIMA : R&D EN LIEN,
INVESTISSEMENTS D'AVENIR

Andrea BACHRATA, Modélisation du renoyage d'un cœur de réacteur fortement dégradé

Romain SUCHET, Information du Grand public: les stratégies de communication pour accroître la résilience de la société en situation radiologique post-accidentelle

Fabien PANZA, Développement de la spectrométrie gamma in situ pour la cartographie de site

Audrey STERNALSKI, Effets des rayonnements ionisants chez les oiseaux dans la zone contaminée de Fukushima

Les évaluations complémentaires de sûreté

10h10 Gianni BRUNA - directeur scientifique : Synthèse des travaux des task groups sur les travaux R&D post-Fukushima - Clôture

SESSIONS POSTERS (DOCTORANTS DE 1ÈRE ANNÉE)

Pôle sûreté : incendie, confinement, neutronique, génie civil, méthodes

Damien BOUFFLERS, Étude des mécanismes de formation des précurseurs de suies dans des flammes de méthane pré-mélangées dopées à différentes richesses

Arnaud BRUNNER, Étude expérimentale de l'effet de la sous-ventilation sur les paramètres de combustion en régime radiatif dominant

Jules GOULIER Comportements aux limites de flammes de prémélange hydrogène/air/diluants. Étude de la transition flamme laminaire-flamme turbulente

Assia BOUAROURI, Développement d'un système de mesure à 10 Hz de concentration d'aérosol atmosphérique

Soleiman BOURROUS, Étude du colmatage de filtres THE plans et à petits plis par des agrégats de nanoparticules simulant un aérosol de combustion

Zakaria MANA, Étude de la suspension de particules à l'intérieur d'un local sous l'effet de la marche d'un opérateur

Simon DELCOUR, Étude des mécanismes physico-chimiques de mise en suspension de contaminants particulaires lors de la dégradation thermique de matériaux représentatifs des installations nucléaires

Pierre MARCHAL, Caractérisation et impact des particules incandescentes dans les réseaux de ventilation

Guillaume DUPOUY, Méthodes de validation de systèmes d'aide à la décision en contexte incertain - évaluation du risque lié à une activité industrielle nucléaire

Alice DUFRESNE, Étude de la précipitation des hydrures dans les gainages par des approches atomistiques

Ghislain FERRAN, Méthodes avancées pour le traitement des données nucléaires

Adrien HILAIRE Étude des déformations différées des bétons en compression et en traction, du jeune au long terme. Application aux enceintes de confinement.

Emmanuel MATHE, Comportement des radiocontaminants dans le ciel de pile et l'enceinte de confinement d'un RNR refroidi au sodium en situation accidentelle : partition de radioéléments

Pôle radioprotection : sismologie, météorologie des radionucléides, toxicologie, radiobiologie, dosimétrie

Elise VI NHU BA, Détection des failles et des zones de fracturation dans les calcaires supérieurs et les argilites de la station expérimentale de Tournemire par combinaison d'imagerie sismique Très Haute Résolution et de résistivité électrique

Mokrane BELHARET, Modélisation numérique de la dispersion en mer des radionucléides rejetés lors de l'accident de la centrale de Fukushima et transfert au milieu biologique

Christiane DUFRESNE, Compréhension et analyse des processus hydrosédimentaires dans la baie de Toulon. Apport à la modélisation de la dispersion des radionucléides

Sophie GRIVÈS, Étude de la toxicité et de l'efficacité in-vivo de formes galéniques de calixarène développés pour le traitement des contaminations cutanées dues à des composés d'uranium

Clélia LE GALLIC, Influence d'une contamination chronique par ingestion de césium 137 sur la progression de la pathologie athéromateuse

Damien DRUBAY Analyse de la relation dose-réponse aux faibles doses et faibles débits de dose pour les risques de mortalité par cancer et par maladie cardiovasculaire chez les mineurs d'uranium

Adrien MARGERIT, Predictive ecotoxicology as a tool to access risks of radionuclides on non human biota in a multi-contamination context

Adeline BUISSET, Études des effets chroniques des rayonnements ionisants chez un organisme modèle, *Caenorhabditis elegans* : du moléculaire à la dynamique des populations, via le développement d'un modèle bioénergétique

Sarah BAGHDADI, Analyse des actinides dans les urines par couplage entre les colonnes calixarène et la spectrométrie de masse à plasma inductif

Emilie RANNOU, Étude de l'implication du compartiment vasculaire dans l'initiation et la progression des lésions intestinales radio-induites : conséquences de l'inactivation temporelle de PAI-1 spécifiquement dans l'endothélium sur les fonctions physiologiques associées aux dommages radio-induits aux tissus sains

Neige JOURNY, Analyse de la relation entre l'exposition aux rayonnements ionisants lors d'examens tomodensitométriques et la survenue de pathologies tumorales au sein de la cohorte « enfants scanner »

Alexandra MOIGNIER, Dosimétrie cardiaque à l'aide de fantômes numériques hybrides dans le cadre de traitements par radiothérapie

Cyril MOIGNIER, Dosimétrie des faisceaux de photons de petites dimensions utilisés en radiothérapie stéréotaxiques : détermination des données dosimétriques de base et évaluation des TPS

Alice PETITGUILLAUME, De la dosimétrie standard à la dosimétrie personnalisée en médecine nucléaire : prise en compte de la morphologie et de la biocinétique spécifique au patient



L'IRSN et ses partenariats en recherche

Session Sureté (1/2)

Amphithéâtre Queen Mary 2

Mardi 2 octobre : 9h30 - 10h50

Présidents : Matthieu SCHULER (IRSN)

Benoit JOURNE (Université de Nantes) : Management de la sûreté des industries à risques.

Sylvain CRISTOL (Université de Lille) : Apport de la modélisation moléculaire à la compréhension des phénomènes physicochimiques aux interfaces.

Romain VANDEPUTTE (doctorant IRSN Cadarache et C3R-Lille) : Etude théorique du rôle du bore sur le comportement de l'iode dans le circuit primaire d'un réacteur.

Titre de la présentation :
Management de la sûreté des industries à risques - Chaire RESOH.

Benoit JOURNE
Pôle gestion et management
Université de Nantes

Thèmes de recherche : Fiabilité organisationnelle, Management de l'imprévu,
Management de la sûreté des industries à risque, Approches cognitives de l'organisation

La sûreté apparaît aujourd'hui comme la condition du maintien et du développement des industries à risques : c'est d'abord une exigence morale et éthique qui pousse les entreprises à s'inscrire dans une perspective de développement durable ; c'est ensuite un enjeu économique majeur (par le biais des pertes liées aux accidents et pollutions) et c'est enfin une condition sine qua non d'acceptabilité politique et sociale de certains risques, en particulier dans le cas de l'industrie nucléaire.

Longtemps abordée du seul point de vue technique, la sûreté se joue de plus en plus à travers les facteurs humains, organisationnels et managériaux qui participent à la conception, la construction, l'exploitation et le démantèlement des installations à risques.

Les principales autorités de sûreté dans le monde, interrogent désormais les exploitants sur les composantes humaines et organisationnelles de la sûreté et les incitent à progresser dans ce domaine. En France notamment, l'ASN et l'IRSN se sont penchés en 2007 sur la question du « management de la sûreté dans un contexte de compétitivité ».

Le management de la sûreté dans un cadre de co-traitance

Les évolutions économiques récentes ont incité les grandes entreprises à s'engager dans des stratégies de sous-traitance massive pour se « recentrer sur leur cœur de métier », réduire leurs coûts et se développer à l'international. Les fournisseurs traditionnels se transforment alors en partenaires industriels liés aux donneurs d'ordres par des relations contractuelles de moyen terme. Devenus « co-traitants », les sous-traitants prennent en charge une part croissante de la valeur produite par le donneur d'ordres. Les relations traditionnelles de subordination s'effacent peu à peu au profit de relations de coopération. Dès lors, la sûreté qui était pensée à l'intérieur d'une organisation (celle du donneur d'ordres) devient une affaire de relations inter-entreprises. Il convient donc de penser la sûreté du système dans sa globalité et de se pencher sur cette nouvelle complexité organisationnelle qui brouille les repères traditionnels des acteurs et pose des problèmes de responsabilité au regard de la sûreté.

Objectifs de recherche

- aider les acteurs à mieux comprendre et évaluer les points de vulnérabilité, de robustesse et de résilience de leurs pratiques dans un réseau de sous-traitance et de co-traitance,
- préciser des éléments de doctrine de management de la sûreté, en particulier dans le cadre de relations de sous-traitance et de co-traitance
- améliorer les pratiques intra et inter-organisationnelles dans le domaine de la sûreté.

Axes de recherche et dispositifs de recherche

Les thématiques retenues portent en priorité sur les stratégies d'amélioration de la sûreté et de leurs traductions organisationnelles, humaines et managériales. Parmi elles, les questions relatives à la culture de sûreté, aux processus de prise de décision,

à l'exercice de la responsabilité, au design de l'organisation, au choix des outils de gestion, au type d'animation managériale et aux identités professionnelles pourront faire l'objet d'une attention particulière.

Deux modalités de recherches sont déployées simultanément :

- des recherches-action ciblées sur des chantiers complexes qui mettent en œuvre des pratiques de co-traitance
- un observatoire des pratiques de co-traitance et de sous-traitance

Parties prenantes et moyens

La Chaire portée par l'Ecole des Mines de Nantes est le fruit de la collaboration de trois partenaires fondateurs : Aréva, DCNS, et IRSN (SFORE). Lancée en mars 2012, elle est dotée d'un budget de 1,5 M€ sur 5 ans.



Titre de la présentation :

Apport de la modélisation moléculaire à la compréhension des phénomènes physicochimiques aux interfaces.

Sylvain Cristol, Jean-François Paul

Professeurs des universités

Unité de Catalyse et Chimie du Solide

UMR CNRS 8181 - Université Lille 1 59650 Villeneuve d'Ascq

Thèmes de recherche : modélisation des réactions d'hydrodésulfuration, modélisation et spectroscopie appliquées à la compréhension des phases oxydes supportés pour la valorisation du méthanol, modélisation des réponses spectroscopiques en phase condensée

La chimie théorique permet de prévoir la réactivité et la dynamique en phase gazeuse, en phase condensée ou aux interfaces solide-gaz et solide-liquide et d'obtenir par le calcul les données énergétiques et cinétiques de phénomènes chimiques qui peuvent être difficiles à mesurer expérimentalement. La modélisation est alors un complément de choix pour les études expérimentales et permet une meilleure compréhension des phénomènes étudiés. Après une introduction sur les différentes méthodes de calcul, leurs points forts et leurs limitations, un exemple d'application de ces méthodes aux problématiques de la sûreté nucléaire sera abordé.

La compréhension de la nature des interactions entre les différents produits de fission et les surfaces avec lesquelles ils peuvent interagir lors d'une fuite accidentelle est indispensable pour estimer la quantité et la nature chimique de produit relargués. Les surfaces métalliques ou d'oxydes présentes dans le réacteur, les circuits de fluide et les filtres peuvent catalyser la formation de produits volatils ou au contraire piéger un certain nombre d'éléments. La modélisation au niveau atomique de ces interactions et transformations permet d'affiner les données expérimentales quand elles sont disponibles ou de les remplacer quand les mesures sont impossibles.

La chimie quantique qui permet obtenir des données quantitatives à la fois sur la nature et la force de l'interaction donnera accès à la quantité de produits déposé à la surface des solides. De même le calculs des vitesses de transformation et de désorptions des produits donnera des informations sur la durée de diffusions des produits radioactifs dans l'atmosphère. Une des difficultés de ce type d'étude est la définition d'un modèle prenant en compte les conditions expérimentales parfois extrêmes dans lesquelles la réaction a lieu. Des modèles thermodynamiques relativement simple permettent de tenir compte des conditions de températures et de pressions du milieu et donc de les faire varier pour reproduire la nature et l'évolution du système en fonction des conditions expérimentales.



Sujet de la thèse :

Etude théorique du rôle du bore sur le comportement de l'iode dans le circuit primaire d'un réacteur.

Doctorant :	Romain VANDEPUTTE
Date du début de la thèse :	04/10/2010
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/LETR
Financement de thèse :	IRSN/EDF
Directeur de thèse :	Florent LOUIS - Université de Lille
Tuteur de thèse :	Laurent CANTREL
Ecole doctorale :	Université Lille 1 Sciences et Technologies/SMRE

Dans le cadre d'un accident nucléaire majeur, les produits résultant de la dégradation des barres de contrôle sont susceptibles d'influencer le transport de l'iode dans le Circuit Primaire (CP) d'un Réacteur à Eau Pressurisée (REP) comme l'atteste les résultats du programme PHEBUS-PF. Trois essais expérimentaux PHEBUS-PF (FPT0, FPT1 et FPT2) ont été réalisés en présence de barres de contrôle en Argent-Indium-Cadmium (AIC) et un autre essai (FPT3) avec des barres de contrôle constituées de carbure de bore (B_4C). Lors de l'essai FPT3 une fraction beaucoup plus importante d'iode gazeux à la brèche a été observée. Il est suspecté que la formation de CsI soit limitée au profit de composés de type $Cs_xB_yO_z$ (en particulier le métaborate de césium $CsBO_2$). Les résultats de cette thèse doivent apporter ou consolider des données de type thermochimique concernant les borates de césium qui sont mal connus dans la littérature et des données d'ordre cinétique concernant les réactions conduisant à la formation de ces borates. L'ensemble de ces données sera intégré dans le logiciel de simulation des accidents graves ASTEC (Accident Source Term Evaluation Code), et les essais analytiques réalisés en support à l'interprétation des essais PHEBUS-PF (cf. Thèse M. Gouello) ainsi que l'essai FPT3 seront réinterprétés à la lumière de ces nouvelles données. Un des moyens pour accéder à ces grandeurs thermocinétiques consiste à associer des outils de chimie quantique, la thermodynamique statistique et les théories cinétiques appropriées.

Les paramètres structuraux (géométries et fréquences vibrationnelles) pour les composés du type CsB_xO_y , $Cs(B_xO_y)_z$ et $Cs_2(B_xO_y)_z$ sont déterminés avec la méthode B3LYP associées aux bases d'orbitales atomiques cc-pVTZ et aug-cc-pVTZ pour les atomes de bore et d'oxygène. L'atome de césium est décrit par le pseudopotentiel ECP46MDF développé par Lim et al.. Les enthalpies standard de formation à 298 K sont calculées avec des réactions d'atomisation et isogyrique. Finalement, pour les monomères, les valeurs calculées ont été comparées avec ceux obtenues avec la méthode CCSD(T) plus élaborée. L'ensemble des résultats sera présenté et comparé avec les valeurs disponibles dans la littérature. En dernière année de thèse, les efforts porteront sur la détermination des voies de réaction conduisant à la formation de ces borates de césium.



L'IRSN et ses partenariats en recherche

Session Sureté (2/2)

Amphithéâtre Queen Mary 2

Mardi 2 octobre : 11h20 - 12h50

Président : Bernard BONIN
Directeur scientifique de la DEN au CEA
Membre du Conseil scientifique de l'IRSN

Jean-Michel TORRENTI (IFSTTAR) : Durabilité des ouvrages de génie civil.

Mohamad AL SHAMA (doctorant IRSN FAR et IFSTTAR) : Étude du risque de développement d'une réaction sulfatique interne et de ses conséquences dans les bétons de structures des ouvrages nucléaires.

Xuan Dung VU (doctorant IRSN et INPGrenoble) : Étude du comportement de dalles en béton soumises à un impact : Caractérisation du matériau, Modélisation et Validation.

Titre de la présentation :
La durabilité des ouvrages de génie civil.

Jean-Michel TORRENTI

Directeur du département matériaux

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR)

Thèmes de recherche : Bétons et composites cimentaires, Démarches durables en Génie civil, Physico-chimie des matériaux, Structures et matériaux pour les infrastructures de transport

Dans le contexte normatif actuel, la durabilité d'une structure en béton s'appuie sur les classes d'exposition pour définir les risques d'agressions et d'attaques auxquels l'ouvrage ou la partie d'ouvrage va être exposé pendant la durée d'utilisation de la structure.

À partir de la classe d'exposition, la norme NF EN 206 1 prescrit des moyens d'atteindre la durabilité recherchée : valeurs minimales (teneur en liant par exemple) ou maximales (rapport eau sur liant par exemple) pour la composition du béton et une valeur performantielle : la résistance mécanique. Ces valeurs correspondent au retour d'expérience : un béton composé selon ces règles aura normalement la durabilité escomptée. Afin de protéger de la corrosion les armatures de béton armé, l'Eurocode 2 règle la valeur de l'enrobage principalement en fonction de la classe d'exposition et de la qualité du béton, mesurée par sa résistance. Là encore, le retour d'expérience sur les structures existantes a permis de définir les valeurs réglementaires au niveau de fiabilité recherché.

Parallèlement à l'approche prescriptive, se développent actuellement des approches dites « performantielles ». Elles ont pour objectif d'obtenir un béton durable, non pas en imposant des contraintes relatives à sa composition mais par l'obtention directe de performances concernant sa durabilité. Ces approches permettent de prendre en compte plus facilement les considérations de développement durable, par exemple en utilisant une quantité de liant plus faible que celle imposée par la norme.

La méthode de conception performantielle, ou approche par indicateurs de durabilité (comme la porosité à l'eau P_{eau} , la perméabilité au gaz K_{gaz} , le coefficient de diffusion des chlorures D_{app}), est ainsi prévue par la norme NF EN 206 1. Cette méthode repose sur des modèles, par exemple, de carbonatation ou de pénétration des chlorures, afin d'en déduire des indicateurs relatifs à ces modèles et des valeurs limites de ces indicateurs pour atteindre la durabilité recherchée. De plus ces modèles peuvent être probabilisés afin de prendre en compte la variabilité des propriétés des bétons (projet ANR APPLLET).

Ces approches sont actuellement appliquées aux ouvrages neufs pour lesquels on peut espérer une durabilité mieux maîtrisée. Dans le cas du parc actuel d'ouvrages, on veut pouvoir utiliser les mêmes modèles, mesurer sur structure l'évolution des indicateurs de durabilité et prédire ainsi une durabilité. C'est l'objectif du projet ODOBA en cours de montage. Il doit permettre de valider les modèles et les méthodes de mesure d'indicateurs performantiels adéquats grâce à une expérimentation sur grande échelle.

La similitude des missions en matière d'expertise et de recherche pour les infrastructures de transports à l'IFSTTAR et pour le nucléaire à l'IRSN, ainsi que la complémentarité des équipes, testée dans plusieurs thèses, et, enfin, la volonté de faire évoluer les pratiques et les recommandations (notamment sur la RSI) conduisent l'IRSN et l'IFSTTAR à construire ensemble le projet ODOBA.

Sujet de la thèse :

Etude du risque de développement d'une réaction sulfatique interne et de ses conséquences dans les bétons de structure des ouvrages nucléaires.

Doctorant :	AL SHAMAA Mohamad
Date du début de la thèse :	01/10/2009
Laboratoire :	PSN-EXP/SES/BAGCS
Financement de thèse :	Cofinancement IRSN/IFSTTAR
Directeur de thèse :	Jean-Michel TORRENTI (IFSTTAR)
Tuteur de thèse :	Georges NAHAS (IRSN)
Ecole doctorale :	Université Paris-Est- Sciences, Ingénierie et Environnement

La réaction sulfatique interne (RSI) dans les ouvrages en béton est une pathologie susceptible de se développer lorsque des conditions particulières portant sur la composition du béton, les conditions thermiques au jeune âge et l'environnement sont réunies. Ce phénomène est attribué à la formation d'ettringite différée qui provoque un gonflement du matériau et une fissuration dans la structure, et peut affecter deux types de béton : les bétons préfabriqués traités thermiquement et les bétons coulés en place dans les pièces massives. Dans les ouvrages nucléaires, où il existe des pièces massives, l'éventualité de rencontrer ce phénomène ne peut pas être écartée. Il apparaît alors nécessaire pour ces ouvrages de vérifier s'il existe un éventuel risque de développement à long terme d'une RSI. Cette étude revêt une importance capitale dans un contexte où une prolongation de la durée de vie de ces installations est envisagée.

Dans ce cadre, les travaux de thèse ont porté sur l'évaluation vis-à-vis de la RSI du comportement du B11, un béton représentatif de celui utilisé dans la construction du radier général d'une enceinte de confinement d'une centrale nucléaire. La simulation numérique de l'évolution de la température lors du coulage du béton pendant la construction du radier a montré que la température atteinte à cœur du radier, dans certaines levées, dépassait la valeur de la température maximale préconisée par les recommandations du LCPC sur la prévention du risque de la RSI. Cette simulation a servi également à définir le chargement thermique utilisé dans le protocole expérimental de la méthode d'essai des lpc n°66 pour détecter cette pathologie. L'étude expérimentale a montré que le B11 présente un réel risque de développement de la RSI. L'étude de l'influence de la pathologie sur les propriétés du béton a mis en évidence une dégradation importante de ses performances mécaniques et une augmentation significative de sa perméabilité. Par ailleurs, l'humidité relative joue d'une manière significative sur le déclenchement de la pathologie. Des gonflements importants sont observés dans des bétons immergés dans l'eau ou conservés sous hygrométrie saturée. Cette constatation conduit à considérer que la réaction chimique peut se déclencher sans que l'ouvrage soit immergé dans l'eau. Enfin, l'étude de l'influence du squelette granulaire sur le phénomène de gonflement a montré que le diamètre et le taux de substitution des inclusions sont d'une grande importance sur la cinétique et l'amplitude du gonflement. Cette nouvelle constatation expliquerait l'effet aggravant des fillers calcaires sur le développement de cette pathologie.

Cette thèse a contribué à apporter des éléments de connaissance pour la prévention de cette pathologie très destructive pour les ouvrages en béton.

Sujet de la thèse :

Vulnérabilité des dalles en béton sous impact.

Doctorant :

VU Xuan Dung

Date du début de la thèse :

01/11/2009

Laboratoire :

PSN/SES/BAGCS, RV/3S-R (Université JF - Grenoble)

Directeur de thèse :

Laurent DAUDEVILLE /Université Joseph Fourier

Tuteur de thèse :

Bertrand CIRÉE

Financement de thèse :

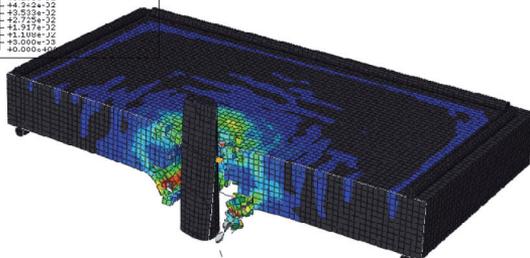
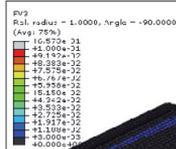
BDI (cofinancement IRSN-CNRS)

Ecole doctorale :

Grenoble, IMMEEP - ED510

Le béton est un matériau dont le comportement est complexe, notamment dans les cas de sollicitations extrêmes. L'objectif de cette thèse est de caractériser expérimentalement le comportement du béton lorsque celui-ci est soumis à des sollicitations générées par un impact (compression confinée et traction dynamique) et de développer un outil numérique robuste permettant de modéliser d'une manière fiable son comportement. La première année de thèse a permis de caractériser le comportement statique multi axial en compression et le comportement dynamique uniaxial en traction du béton. Le programme expérimental a été effectué sur le béton provenant du centre de VTT et qui a servi dans les essais d'impact réalisés par ce laboratoire en Finlande. Les résultats de ces essais ont été utilisés pour identifier les paramètres du modèle de comportement du béton PRM (Pontiroli-Rouquand-Mazars) disponible dans le logiciel ABAQUS. Ce modèle repose sur un couplage entre un modèle d'endommagement et un modèle de plasticité permettant de simuler le comportement du béton sous fort confinement. La deuxième et la troisième année de la thèse ont été consacrées à l'amélioration du modèle numérique PRM couplé pour disposer d'un outil capable de reproduire le comportement du béton sous différents trajets de chargement et à différents niveaux de confinement tout en tenant compte du degré de saturation dans le béton. Ces améliorations ont ensuite été validées et vérifiées par confrontation des résultats numériques obtenus et des essais de type impact.

Etudes expérimentales :



Des essais de compression triaxiale sur béton pour une gamme de confinement variant de 0 MPa (compression simple) à 600 MPa ont été réalisés, ainsi que des essais de traction dynamique à différente vitesse de chargement.

Etudes numériques :

- Identification des paramètres du modèle PRM couplé pour le béton utilisé pour les essais VTT
- Amélioration du modèle PRM couplé pour tenir compte du degré de saturation du béton et retrouver

les résultats expérimentaux des essais VTT.

- Simulation d'impacts des Benchmarks IRIS 2010 et 2012 dont le confinement maximal est proche de 150 MPa. et des essais de perforation du béton dans lesquels le confinement maximal atteint 500 MPa (béton standard R30A7)

Conclusion :

Cette thèse a permis de mettre en évidence l'importance de plusieurs éléments notamment :

- le degré de saturation du béton sur le comportement du béton à forte valeur de confinement,
- les contraintes de cisaillement dans le modèle d'endommagement du béton,

.../...

- la caractérisation du béton par des essais triaxiaux sur la presse GIGA, car l'utilisation de la limite caractéristique du béton à la compression et les valeurs calculées par défaut du modèle rhéologique PRM conduisent à des résultats numériques très éloignés des valeurs expérimentales.

Perspectives :

- Amélioration de l'évolution de la variable de couplage dans le modèle PRM entre la partie endommagement et la partie plasticité, et prise en compte des contraintes de cisaillement dans le modèle d'endommagement.



L'IRSN et ses partenariats en recherche

Session environnement et santé (1/2)

Amphithéâtre Queen Mary 2

Mardi 2 octobre : 14h10 - 15h30

Président : Jean-Christophe SABROUX (IRSN)

Patrice MESTAYER (Ecole Centrale de Nantes) : Le rôle de la turbulence dans les transferts atmosphériques, le transport et la déposition des polluants dans l'atmosphère urbaine.

Pierre ROUPSARD (doctorant IRSN) : Quantification du dépôt sec des aérosols et de leurs lessivages par la pluie sur différents substrats en milieu urbain.

Arnaud QUEREL : (doctorant IRSN) : Etude expérimentale analytique du rabattement des aérosols atmosphériques par des précipitations dédiée à la quantification.



titre de la présentation :

Observation et modélisation de l'atmosphère urbaine et côtière (météorologie, climatologie, télédétection).

Patrice MESTAYER

Directeur de Recherche émérite du CNRS

Institut de recherche en sciences et techniques de la ville (IRSTV)

Fédération de recherche CNRS (FR 2488), Nantes

Dans un premier temps on observera la génération de la turbulence dans les écoulements fluides par le cisaillement de l'écoulement et ses conséquences sur le mélange macroscopique et les transferts de matière. Puis on observera la structure générale de l'atmosphère pour se focaliser sur celle des plus basses couches, et principalement sur l'écoulement turbulent à proximité de la surface terrestre (couche limite atmosphérique et couche de surface). On en déduira les mécanismes de transferts de matière de la surface vers l'atmosphère (envols) et de l'atmosphère vers la surface (dépositions), d'abord en condition homogène sur les grandes surfaces uniformes, marines ou terrestres, puis dans les conditions hétérogènes que l'on trouve au-dessus des agglomérations urbaines. On finira en détaillant les interactions entre les tissus urbains et la très basse atmosphère et leurs conséquences pour les transferts de polluants.

Après plusieurs années de coopération du Laboratoire de radioécologie d'Octeville avec plusieurs équipes de l'IRSTV, notamment le projet InoGEV (Innovations pour la gestion durable de l'eau en Ville) dont le but est d'acquérir la connaissance et la maîtrise de la contamination des eaux pluviales urbaines, l'IRSN est maintenant partenaire de cet institut fédératif : on présentera brièvement l'IRSTV, les causes et conséquences d'une structuration fédérative des recherches sur les environnements urbains.



Sujet de la thèse :

Etude phénoménologique du dépôt sec d'aérosols en milieu urbain : influence des propriétés des surfaces, de la turbulence et de la météorologie locale.

Doctorant :	Pierre ROUPSARD
Date du début de la thèse :	2 novembre 2009
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/LRC
Financement de thèse :	Cofinancement ANR Inogev - IRSN
Directeur de thèse :	Alexis COPPALLE / INSA de Rouen
Tuteur de thèse :	Denis MARO
Ecole doctorale :	INSA de Rouen / SPMII

Comprendre et évaluer l'importance des rejets chroniques et accidentels d'aérosols submicroniques dans les flux de polluants aux interfaces représente aujourd'hui un enjeu de premier ordre pour le suivi et la gestion de la pollution atmosphérique. Le milieu urbain peut être fortement exposé aux polluants atmosphériques et, dans le cas de radionucléides, les surfaces urbaines peuvent être une voie d'exposition des habitants aux rayonnements des éléments radioactifs déposés. Or, le dépôt sec d'aérosols a jusqu'à présent été très peu étudié dans ce milieu. Il en résulte qu'il est assez mal connu et que les modèles urbains de dépôt ne sont pas précis.

Cette étude a pour principaux objectifs de quantifier les vitesses de dépôt sec (rapport d'un flux de dépôt sec par une concentration dans l'air) d'aérosols submicroniques sur des surfaces urbaines en fonction des conditions de turbulence et des conditions météorologiques locales. Les résultats obtenus doivent permettre de hiérarchiser l'importance de différents mécanismes physiques de dépôt (impaction inertielle, phénomènes phorétiques, sédimentation...). Une attention particulière est apportée à l'étude de la thermophorèse en milieu urbain.

Une approche expérimentale originale basée sur le traçage avec des aérosols et la mesure des paramètres environnementaux a été développée. Elle s'articule en trois étapes pour intégrer progressivement les différents mécanismes de dépôt : 1, en soufflerie ; 2, in situ sur de courtes durées (60 min) ; 3, in situ sur de longues durées (1 mois). Un aérosol de fluorescéine généré est utilisé en soufflerie et in situ sur de courtes durées. Le béryllium 7 atmosphérique est utilisé in situ sur de longues durées. Les résultats de soufflerie montrent que selon les conditions rencontrées, les processus turbulents de dépôt (impaction, interception), la sédimentation et la thermophorèse sont les mécanismes prédominants. Les résultats in situ sur de courtes durées mettent en évidence les mêmes mécanismes, confirmant leur importance, la thermophorèse devant ainsi être prise en compte comme un processus majeur en conditions réelles. Par contre, in situ sur de longues durées, la variation de la taille des particules est vraisemblablement le phénomène le plus important à prendre en compte. Favorisant l'impaction turbulente et la sédimentation elle augmente le dépôt.

Sujet de la thèse :

Etude expérimentale analytique du rabatement des aérosols atmosphériques par des précipitations dédiée à la quantification de l'influence des différents phénomènes physiques induits par les conditions naturalistes.

Docteurant :

Arnaud QUÉREL

Date du début de la thèse :

01/10/2012

Laboratoire :

PSN-ENV/SCA/LECEV

Financement de thèse :

TAF

Directeur de thèse :

Andrea Flossmann - Université de Clermont Ferrand

Tuteur de thèse :

Emmanuel Porcheron

Ecole doctorale :

Clermont Ferrand - Sciences fondamentales

Lors d'une éventuelle libération dans l'atmosphère de matières radioactives sous forme particulaire, celles-ci vont se disperser et se déposer au sol. Deux types de dépôts sont généralement distingués : le dépôt sec (voir travaux de P. Rousard) et le dépôt humide. Les travaux de cette thèse sont consacrés uniquement au dépôt humide, et plus spécifiquement au rabatement des particules par la pluie sous le nuage (les phénomènes se déroulant dans le nuage ne sont pas étudiés ici).

Une approche microphysique est utilisée pour aborder ce phénomène. Cette approche est complémentaire de la vision méso-échelle (voir travaux de G. Depuydt).

L'approche microphysique, décrits explicitement les mécanismes physiques se déroulant à cette échelle des gouttes, puis les modélise au sein d'un modèle atmosphérique afin de prévoir des comportements à méso-échelle (échelle de la pluie). Ce modèle microphysique permet de calculer la formation d'un nuage et des précipitations consécutives et est particulièrement adapté au suivi des interactions entre les gouttes et les aérosols. Entre autres choses, il décrit de manière détaillée l'évolution des distributions granulométriques en masse et en nombre des particules pour chaque types d'aérosols, et dans chaque couche de l'atmosphère.

En somme, le rabatement des particules par la pluie peut être très finement modélisé avec DESCAM.

Cependant, parmi les paramètres physiques utilisés par DESCAM, il en existe un qui est particulièrement méconnu pour les gouttes de pluie : l'efficacité de collecte d'une particule par une goutte.

Afin de mesurer ce paramètre indispensable à une bonne modélisation, l'expérience BERGAME (Banc d'Etude du Rabatement Goutte/Aérosol et des Mesures d'Efficacité de collecte) a été dimensionnée et construite. Il s'agit principalement d'un générateur de goutte, d'une colonne de 10 m de hauteur et d'une cuve remplie d'aérosols. Les gouttes qui atteignent leur vitesse limite de chute traversent la cuve, puis la masse de particules qu'elles auront capté au cours de cette traversée de la cuve est mesurée, ce qui permet de déterminer de l'efficacité de collecte.

Les efficacités de collecte ainsi mesurées sont ajoutées au modèle DESCAM, permettant une modélisation plus fiable du rabatement des aérosols atmosphériques par la pluie.



L'IRSN et ses partenariats en recherche

Session environnement et santé (2/2)

Amphithéâtre Queen Mary 2

Mardi 2 octobre : 16h40 - 18h00

Président : Patrick LALOI (IRSN)

Pierre WEISS (Université de Nantes) : Biomatériaux et ingénierie tissulaire.

Raphaëlle BESSOUT (doctorante IRSN) : Bénéfice thérapeutique d'une injection de cellules souches mésenchymateuses (CSM) sur la réparation des lésions colorectales radio-induites - Rôle du processus inflammatoire.

Jean-Victor LACAVE-LAPAULIN (doctorant IRSN) : Rôle des Toll-like Receptor (TLR) dans les orientations immunitaires induit par une irradiation abdominale : potentialisation des TLR dans le traitement des lésions radio-induites par les cellules souches mésenchymateuses.

titre de la présentation :

Ingénierie tissulaire ostéo-articulaire en territoire irradié.

PPierre WEISS

Directeur du Laboratoire d'Ingénierie Ostéo-Articulaire et Dentaire

UFR d'odontologie

Université de Nantes

Thèmes de recherche : Ingénierie tissulaire du squelette, biomatériaux, dispositif médical, substituts osseux injectables, hydrogels.

Le cancer des VADS (Cancer des voies aéro-digestives supérieures) est le quatrième cancer chez l'homme en France et son taux de mortalité est le plus élevé en Europe. La France est le troisième pays le plus touché dans le monde. Les localisations les plus fréquentes concernent la cavité orale dont l'incidence est une des plus élevée dans le monde.

Ces cancers sont traités dans la grande majorité des cas par une association chirurgie et radiothérapie se traduisant par des séquelles dento-squelettiques et orofaciales dont les conséquences fonctionnelle (mastication, déglutition, alimentation, parole), esthétique, psychologique et sociale diminuent de manière significative la qualité de vie de ces patients.

La greffe osseuse autologue (GOA) ou les techniques d'ingénierie tissulaire osseuse (ITO) utilisant des biomatériaux phosphocalciques ne permettent pas de générer une reconstruction craniofaciale en territoire irradié ou cicatriciel satisfaisante. Des études d'association de phosphates de calcium de calcium en territoire irradié chez le rat (O. Malard et coll.) ont montré qu'il est indispensable d'utiliser de la moelle osseuse totale pour régénérer du tissu irradié. Dans le but de déterminer une stratégie optimale, nous (P Corre et coll.) avons comparé les principales techniques d'ITO utilisant ou non des cellules souches mésenchymateuses (CSM) dans un modèle de souris nude sous cutanée et de défaut critique de calvaria chez le rat syngénique. Dans les deux modèles, la moelle osseuse totale donne des résultats équivalents ou meilleurs que les cellules souches mésenchymateuses. Pourquoi ?

Dans cette présentation, nous allons essayer de montrer les difficultés de l'ingénierie tissulaire osseuse actuelle et particulièrement en territoire irradié et les pistes de recherche actuelles pour y remédier.

Sujet de la thèse :

Utilisation des cellules souches mésenchymateuses dans le traitement des lésions colorectales radio-induites : Rôle du processus inflammatoire.

Doctorant :	Raphaëlle BESSOUT
Date du début de la thèse :	01/11/2008
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LRTE
Financement de thèse :	région IDF dim Stem
Directeur de thèse :	Marc Benderitter
Tuteur de thèse :	Noelle Mathieu
Ecole doctorale :	Paris6 /Physiologie, Physiopathologie

La radiothérapie reste aujourd'hui incontournable dans la prise en charge des pathologies cancéreuses de la zone pelvienne. La radiothérapie consiste en un compromis optimal entre le contrôle tumoral et les dommages aux tissus sains i.e. risque/bénéfice. L'irradiation des zones saines peut entraîner une perte de l'intégrité intestinale aboutissant à des complications gastro-intestinales précoces (80%) et tardives (10%) chez les patients traités par radiothérapie. L'évolution récente des protocoles de radiothérapies pelviennes permet de diminuer les volumes de tissus sains irradiés. Néanmoins, l'intensification des traitements, souvent associé à d'autres stratégies cytotoxiques, entraîne une augmentation des complications gastro-intestinales. Chez des patients traités par radiothérapie et ayant reçu, à la suite d'un accident, un surdosage d'irradiation, on observe une aggravation considérable des complications gastro-intestinales. Malgré le grand nombre de molécules disponibles, la complexité physiopathologique de ces lésions et le contexte septique intestinal limitent l'efficacité des thérapies disponibles.

L'utilisation de la thérapie cellulaire utilisant les cellules souches mésenchymateuses (CSM) semble prometteuse en médecine régénérative. Le traitement par les CSM induit un bénéfice thérapeutique chez les patients atteints de maladies inflammatoires et développant des lésions gastro-intestinales. D'autre part, une amélioration de la cicatrisation cutanée a pu être observée chez des personnes ayant été irradiées accidentellement au niveau de la main et de la cuisse et traitées par CSM.

Ce travail de thèse a pour but de proposer un traitement innovant aux patients ayant des complications colorectales sévères suite à une radiothérapie ou un surdosage de radiothérapie abdominale. Le laboratoire a élaboré un modèle d'irradiation colorectale à 27Gy chez le rat qui permet d'obtenir des lésions histopathologiques similaires à celles observées chez les patients.

Les résultats obtenus lors de cette étude a permis de mettre en évidence l'efficacité d'un traitement par les CSM dans le traitement des lésions induites par des irradiations fortes doses au niveau du colon. Le traitement induit une accélération du processus de régénération de la muqueuse colique. Il a aussi été démontré, dans ce modèle, l'implication des capacités immunomodulatrices des CSM sur les cellules de l'immunité adaptative. De plus, un nouveau mécanisme d'immunomodulation des CSM impliquant les glucocorticoïdes a été démontré.

L'ensemble de ces données obtenues, sur un modèle rongeur, suggèrent que les CSM pourraient être utilisées afin de réduire les complications tardives suite au traitement de cancer de la sphère abdomino-pelvienne par radiothérapie ou dans le cadre compassionnel de patients sur-irradiés lors d'un accident de radiothérapie.

Sujet de la thèse :

« Rôle des Toll-Like Receptor (TLR) dans les orientations immunitaires induit par une irradiation abdominale: Potentialisation des TLR dans le traitement des lésions radio-induites par les cellules souches mésenchymateuses ».

Doctorant :	Jean-Victor LACAVÉ-LAPALUN
Date du début de la thèse :	02/11/09
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LRTE
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Christine Linard
Ecole doctorale :	Paris VI : ED394 Physiologie / Physiopathologie

Ce travail de thèse s'inscrit dans le programme de thérapie cellulaire de l'IRSN (projet 5.2.2 du PMLT). Elle s'inscrit dans les axes de recherche du laboratoire en proposant une stratégie pour potentialiser l'effet thérapeutique des cellules souches mésenchymateuses (CSMs) dans un contexte de brûlures radiologiques intestinales.

Cette stratégie est basée sur l'adjonction d'un motif bactérien au traitement pour stimuler le système immunitaire de l'hôte et favoriser ainsi l'implantation des CSMs. Ces motifs vont stimuler des récepteurs (Toll-Like Receptors (TLRs)) situés à la surface d'une grande partie des cellules. Ces récepteurs font partis des « pattern recognition receptors ». Ils réagissent et captent certains motifs microbiens. Cette stimulation va entraîner la sécrétion de cytokines pour une mise en place d'une immunité innée rapidement efficace contre les microorganismes.

En plus de permettre la mise en place de l'immunité, l'activation des TLRs a démontré un effet radio-protectant dans de nombreux épithéliums dont l'intestin. Cette activation peut être recréées in vivo grâce à des injections de ces motifs bactériens.

Cette thèse comporte 2 objectifs :

- Caractériser les effets radioprotectants dues à la stimulation des TLRs dans un modèle colique de complications des radiothérapies
- Potentialiser les effets bénéfiques des CSMs par l'adjonction de ligands de TLRs dans un modèle colique de surexposition

Dans le modèle de complication des radiothérapies, l'injection des ligands spécifiques des TLR4 et TLR5 induisent de forts changements au sein de la réaction immunitaire post-irradiation. Un effet anti-inflammatoire est observé principalement au travers de la diminution des infiltrats granulocytaires et de la diminution de cytokines pro-inflammatoires (IL-8). Cet effet anti-inflammatoire observé avec l'injection de ligands peut présenter un bénéfice important pour favoriser la cicatrisation en inhibant l'inflammation et en modulant les populations de cellules immunitaires au sein du tissu.

Le bénéfice thérapeutiques des CSMs l'hors de la surexposition colo-rectale vient d'être démontré dans un modèle pré-clinique chez le mini-pig. Dans l'objectif de potentialiser ces effets thérapeutiques nous avons montré que les CSMs cultivées en présence de ligands des TLRs et injectées chez le rat rétablit le statut immunitaire colique. L'ensemble de ces résultats donne lieu à la rédaction de 3 articles.



Session

Recherche en sûreté

Amphithéâtre Queen Mary 2

Mercredi 3 octobre : 8h20 - 10h25

Président : George Yadigaroglu
Professeur ETH Zürich
Membre du Conseil scientifique de l'IRSN

Jean Claude Micaelli Présentation des recherches en sûreté à l'IRSN

Alexis JINAPHANH, Amélioration de la convergence des sources dans le code MORET par un calcul déterministe de type "Algebraic Collapsing"

Jérémy SABARD, Étude de l'explosion de mélanges diphasiques hydrogène et poussières métalliques

Jonathan GERARDIN, Impact des échanges radiatifs dans le refroidissement des centrales nucléaires sous condition accidentelle

Léticia BUSLIG, Méthodes stochastiques de modélisation de données : application à la reconstruction de données non régulières



Sujet de la thèse :

Etudes de la convergence d'un calcul Monte Carlo de criticité : utilisation d'un calcul déterministe et détection automatisée du transitoire

Doctorant :	JINAPHANH Alexis
Date du début de la thèse :	15/11/2009
Laboratoire :	PSN-EXP/SNC
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Annick Billebaud /CNRS-IN2P3
Tuteur de thèse :	Joachim Miss
Ecole doctorale :	Université Joseph Fourier

L'objet de cette thèse est de contribuer aux travaux de R&D destinés à rendre plus robuste et à accélérer la convergence des neutrons lors de leur simulation par méthode de Monte Carlo (MC) pour les configurations délicates présentant des faibles couplages neutroniques : prise en compte de profils d'irradiation des assemblages, modélisations d'installations de très grandes dimensions telles que des cœurs de réacteurs... De telles configurations peuvent conduire à une mauvaise, voire une fausse, estimation du keffectif (le facteur de multiplication des neutrons est le paramètre de base qui caractérise la sûreté-criticité d'un système contenant de la matière fissile), ou à une mauvaise estimation de la distribution des flux utilisés pour les calculs couplant codes d'évolution et codes MC. Ces recherches sont menées dans le cadre d'un accord de collaboration entre l'IRSN (expert dans le développement des méthodes MC en neutronique) et l'Ecole Polytechnique de Montréal (experte dans le développement des méthodes déterministes pour la physique des réacteurs).

Afin d'améliorer la convergence du calcul Monte Carlo, ainsi que sa détection, deux approches ont été envisagées dans ce travail de thèse.

La première consiste à améliorer le calcul en modifiant la simulation à l'aide d'un flux adjoint obtenu par un calcul déterministe réalisé en amont. Cette approche consiste à fournir ainsi au code MC une cartographie grossière de la réactivité du système. Dans cette optique, trois modifications du calcul ont été envisagées au niveau de l'initialisation, la sélection des sites de fission de la génération suivante et de la marche aléatoire des neutrons. Nous avons pu conclure que :

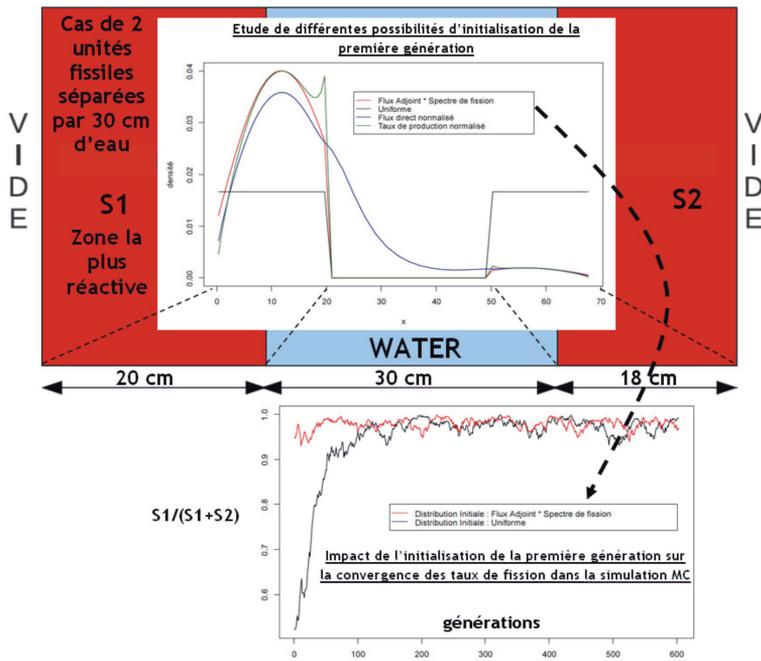
- L'initialisation grâce à un flux adjoint permet de réduire significativement le transitoire,
- la sélection des sites de fission et la modification de la marche aléatoire permettent dans certains cas d'améliorer les estimations, sans pour autant donner un avantage décisif.

La seconde consiste à localiser a posteriori le transitoire et à supprimer des estimations les étapes (paquets de neutrons simulés) de convergence. Cette méthode repose sur la détection de la stationnarité d'une série. Une série particulière, appelée entropie de Shannon a été utilisée. La démarche repose sur l'utilisation d'un test statistique ayant pour variable de décision la moyenne du pont de Student. La méthode proposée permet de disposer d'un moyen de détecter automatiquement le transitoire dans la mesure où un indicateur de convergence fiable est disponible.

.../...



REFLEXION





Sujet de la thèse :

Etude de l'explosion des mélanges diphasiques hydrogène et poussières métalliques.

Doctorant :	SABARD Jérémy
Date du début de la thèse :	16/11/2009
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/BPhAG
Financement de thèse :	Cofinancement IRSN/Région Centre
Directeur de thèse :	CHAUMEIX Nabih - CNRS Orléans
Tuteur de thèse :	Ahmed BENTAIB
Ecole doctorale :	EDST Orléans /Université d'Orléans

En condition de fonctionnement normal de l'installation expérimentale ITER, quelques centaines de kilogrammes de poussières de béryllium, de graphite et de tungstène sont produites suite à l'érosion des parois de l'enceinte à vide (VV) par le plasma. Lors d'un accident de perte de refroidissement ou de confinement, par exemple, l'écoulement généré par la fuite d'eau peut entraîner les poussières, déposées sur les parois, et les mettre en suspension dans l'atmosphère de l'enceinte VV. Ces poussières peuvent réagir avec la vapeur pour produire l'hydrogène accentuant ainsi le caractère explosible de l'atmosphère diphasique gaz-poussières de l'enceinte VV.

L'objectif de la thèse est de compléter la connaissance sur les données fondamentales caractérisant l'explosion de ces mélanges diphasiques permettant ainsi d'évaluer les pressions générées par une éventuelle explosion des poussières qu'elle soit concomitante ou non à celle de l'hydrogène.

Après une étude bibliographique de ces différents phénomènes, des expériences, en bobe sphérique, concernant des mélanges gazeux hydrogène - oxygène - azote ont été réalisées. Les expériences ont été accomplies pour des températures de 303 et 343K et des pressions de 50 et 100kPa pour différents concentrations d'hydrogène et différents rapports N₂/O₂ dans le mélange.



Figure 1 : Vue éclatée de la bombe sphérique

Les paramètres de caractérisation de l'explosion de ces mélanges ont été déterminés tel que la pression maximale de combustion (P_{MAX}), la vitesse de maximale de montée en pression ((dP/dt)_{MAX}) et le temps de combustion. Une modélisation utilisant le code COSILAB a été réalisée, permettant de déduire la vitesse fondamentale de flamme sur la base de trois mécanismes cinétiques détaillés récents de la littérature. Les valeurs ainsi déduites sont comparées aux valeurs expérimentales. Ces trois modèles sont également utilisés pour la détermination de l'énergie d'activation de ces mélanges en fonction de la composition initiale du mélange et des conditions

initiales. De plus, des calculs thermodynamiques à l'équilibre ont été réalisés afin de comparer les pressions maximales de combustion aux valeurs théoriques.

Les derniers mois ont été consacrés à la mise en place du système de dispersion des particules et aux essais de qualification de ce système. Les premiers essais concernant l'étude de l'explosion des mélanges diphasiques sont actuellement en cours.



Sujet de la thèse :

Evaluation du transfert radiatif dans le coeur d'un Réacteur à Eau Pressurisée (REP) lors de la phase de renoyage d'un Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP).

Doctorant :	Jonathan GERARDIN
Date du début de la thèse :	06/10/2009
Laboratoire :	DPAM/SEMCA/LIMAR
Financement de thèse :	
Directeur de thèse :	Pascal BOULET - Université de Nancy
Tuteur de thèse :	Pierre RUYER
Ecole doctorale :	Université de Lorraine / Energie, Mécanique, Matériaux

L'Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) est un accident de référence pour la sûreté des Réacteurs à Eau Pressurisée (REP). Son étude permet de dimensionner les systèmes de sécurité présents dans les réacteurs nucléaires. La phase de renoyage d'un APRP est un phénomène multiphysique où interviennent les effets de l'évaporation, de la turbulence, du transfert radiatif...

L'IRSN l'étudie à l'aide du code de CFD appelé Neptune_CFD. Ce logiciel doit être doté d'un modèle de transfert radiatif. Le problème du transfert radiatif peut être découpé en deux sous problèmes, l'un concernant l'évaluation des propriétés radiatives du milieu et le second concernant la résolution du transfert radiatif. Les propriétés radiatives ont été calculées en utilisant la théorie de Mie pour les gouttelettes et le modèle C-k pour la vapeur d'eau. On obtient un milieu absorbant, diffusant de façon anisotrope, émissif, non gris et non homogène. De plus, la grande gamme possible au niveau des propriétés de l'écoulement (diamètre et concentration des gouttelettes, température et pression de la vapeur) peut donner un milieu optiquement fin ou optiquement épais. Il faut donc une méthode de résolution du transfert radiatif efficace pour toutes les conditions observées dans un APRP tout en ayant un temps de calcul raisonnable du fait du couplage avec les autres modes de transferts. La méthode IDA, dérivée de l'approximation P1, a été choisie. Son niveau de précision a été validé sur des cas tests académiques et sur une expérimentation. Des simulations en condition APRP ont ensuite été effectuées, confirmant que le transfert radiatif n'est pas négligeable dans cet accident.

Sujet de la thèse :

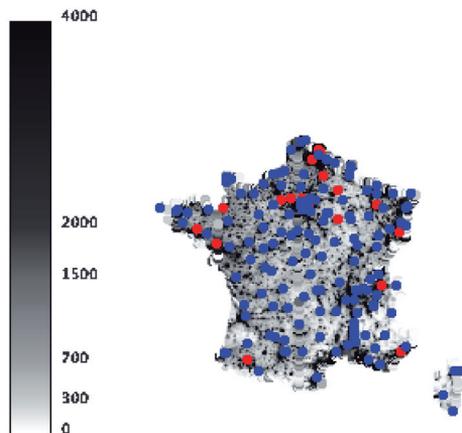
Méthodes stochastiques de modélisation de données : application à la reconstruction de données non régulières.

Doctorant :	Léticia BUSLIG
Date du début de la thèse :	18/10/2010
Laboratoire :	PSN/SEMIA/LIMAR
Financement de thèse :	IRSN/région PACA
Directeur de thèse :	Jacques LIANDRAT - Ecole Centrale de Marseille
Tuteur de thèse :	Jean BACCOU
Ecole doctorale :	ED 184 Maths/info (AMU et Centrale Marseille)

La reconstruction de données joue un rôle important dans les études de sûreté puisque les données à analyser sont le plus souvent discrètes car obtenues via des mesures ponctuelles ou via un processus numérique.

Dans les méthodes de reconstruction, les deux éléments clés sont : le choix d'un modèle représentant fidèlement les données et le choix des points de mesures ou de simulation (plan d'expérience) qui servent à l'identification des paramètres du modèle. Dans cette thèse, nous nous focalisons sur le second élément en se fixant une modélisation stochastique du type Krigeage. La planification d'expérience doit permettre d'avoir suffisamment d'information sur le phénomène à reconstruire, mais en pratique le nombre d'observations est souvent limité par le temps de calcul (codes de calcul complexes) ou par le coût financier (capteurs de mesures). Il devient donc nécessaire de développer des méthodes de sélection efficace des données à produire.

A cet effet, une nouvelle méthode de planification adaptative d'expérience est en cours de développement. Elle couple la théorie du Krigeage à des techniques d'optimisation. Son originalité vient d'abord de la flexibilité dans le choix d'un critère de planification à optimiser qui permet, en fonction des objectifs de l'analyste, de raffiner localement (et donc d'améliorer la reconstruction) dans des zones d'intérêt (régions où la grandeur d'intérêt dépasse un seuil de danger par exemple). Cette approche intègre également une stratégie de réduction de coût de calcul qui rend possible son utilisation dans les applications industrielles. Enfin, pour pallier les problèmes d'instabilités numériques (mauvais conditionnement des matrices de covariance), nous intégrons une étape de stabilisation soit par l'ajout d'une variance d'erreur soit par l'utilisation d'un préconditionneur multi-échelles. Cette dernière construction a été réalisée dans le cadre monodimensionnel et exploite la représentation creuse de l'opérateur de covariance dans une base d'ondelettes.



Les travaux futurs concernent d'abord la généralisation de la construction d'un préconditionneur en plus grandes dimensions. En plus de la première application déjà réalisée pour l'extension d'un réseau de mesures (collaboration PRP-ENV/SESURE, figure ci-dessous), il est aussi envisagé d'utiliser ce nouvel outil pour l'étude de la fissuration des gaines de combustible (laboratoire commun IRSN/CNRS MIST).

Planification adaptative intégrant la densité de population. Réseau Télecray de 164 capteurs (en bleu), les 20 sites ajoutés (en rouge). Le dégradé de gris représente la densité de population, les fortes densités apparaissent en noir.



Session

Recherche en santé

Amphithéâtre Queen Mary 2

Mercredi 3 octobre : 11h00 - 12h40

Présidente : Isabelle Martelly
Professeur Université Paris 12
Membre de la commission des thèses IRSN

Jocelyne Aigueperse Présentation des recherches en santé à l'IRSN

Clémentine POISSON, Rôle du stress oxydant au niveau hépatique et rénal dans la toxicité de l'uranium après exposition chronique

Ingrid NOSEL, Etude des modulations d'expression génique induites chez l'homme par de faibles doses de rayonnements ionisants

Christelle DURAND, Rôle des cellules souches mésenchymateuses dans la modulation de la douleur viscérale associée à un modèle d'ulcération colorectale radio-induite

Sujet de la thèse :

Rôle du stress oxydant au niveau hépatique et rénal dans la toxicité de l'uranium après exposition chronique.

Doctorant :

Clémentine POISSON

Date du début de la thèse :

04/10/2010

Laboratoire :

PRP-Hom/SRBE/LRTOX

Financement de thèse :

TAF

Directeur de thèse :

Isabelle Dublineau

Tuteur de thèse :

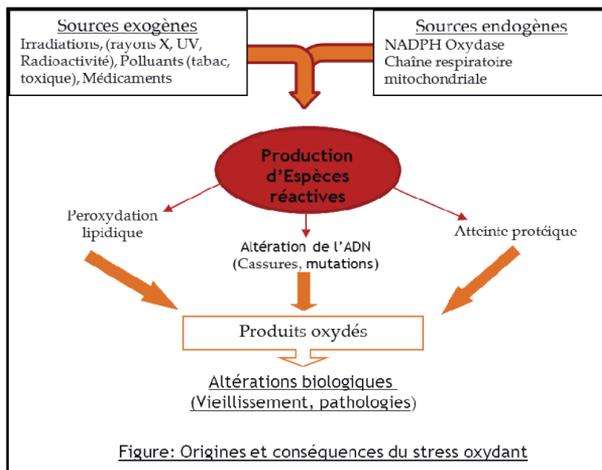
Yann Guegen

Ecole doctorale :

Université Paris-Sud/ED 425-Innovation thérapeutique :
du fondamental à l'appliqué

L'Uranium (U) est un radioélément mais aussi un métal lourd retrouvé dans l'environnement. En raison de sa présence naturelle et de ses applications civiles et militaires, l'Homme peut être contaminé à l'U par ingestion d'eau de boisson ou d'aliments contaminés. Afin d'évaluer les risques liés à l'exposition chronique à faible concentration de radionucléides sur la santé de l'Homme, l'IRSN a mis en place le programme ENVIRHOM dans lequel s'inscrit cette thèse.

De nombreuses études ont mis en évidence qu'après ingestion d'U, celui-ci s'accumule préférentiellement dans les reins à court terme. Le foie, qui est également un organe d'élimination-détoxication, accumule aussi de l'U mais en quantité moins importante. Après une exposition de courte durée à l'U, l'un des mécanismes qui expliquerait sa néphrotoxicité serait un déséquilibre de la balance pro/antioxydant. En revanche, il existe peu de données dans le cas d'une exposition chronique à l'U ainsi que sur son seuil de toxicité. Cette thèse a pour objectif d'étudier les effets d'une contamination chronique à l'U au niveau rénal et hépatique sur l'équilibre pro/antioxydant. Une double approche a été retenue : le versant *in vivo* permet de mimer les risques d'exposition de la population générale, et les études *in vitro* apporteront des explications mécanistiques.



Le modèle animal utilisé consiste à contaminer des rats à l'U via l'eau de boisson pendant une durée de 3 ou 9 mois. Selon le groupe, les animaux reçoivent une dose différente d'U allant de doses environnementales (1 mg/L) à des doses décrites comme étant toxiques (400, 600 mg/L) en vue de déterminer à partir de quelle dose d'U un stress oxydant apparaît.

Différents analyses ont été réalisées : biochimique, histologique, moléculaire ainsi que des mesures de bioaccumulation de l'U par les organes. Les résultats obtenus jusqu'à maintenant mettent en évidence des perturbations du

statut antioxydant pour les plus fortes doses notamment une augmentation du taux de glutathion total.

Ces études seront complétées par des travaux ciblés sur Nrf2. Ce facteur de transcription joue un rôle prépondérant dans l'induction des systèmes antioxydant et de détoxication. Des expériences sur des modèles *in vivo* et *in vitro* n'exprimant pas Nrf2 sont actuellement en cours.

Sujet de la thèse :

Etude des modulations d'expressions géniques induites par de faibles doses de rayonnements ionisants.

Doctorant :	Ingrid NOSEL
Date du début de la thèse :	01/10/2009
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LDB
Financement de thèse :	Allocation ministérielle
Directeur de thèse :	Patrick Laloi
Tuteur de thèse :	Gaétan GRUEL
Ecole doctorale :	Versailles-St Quentin - du génome aux organismes

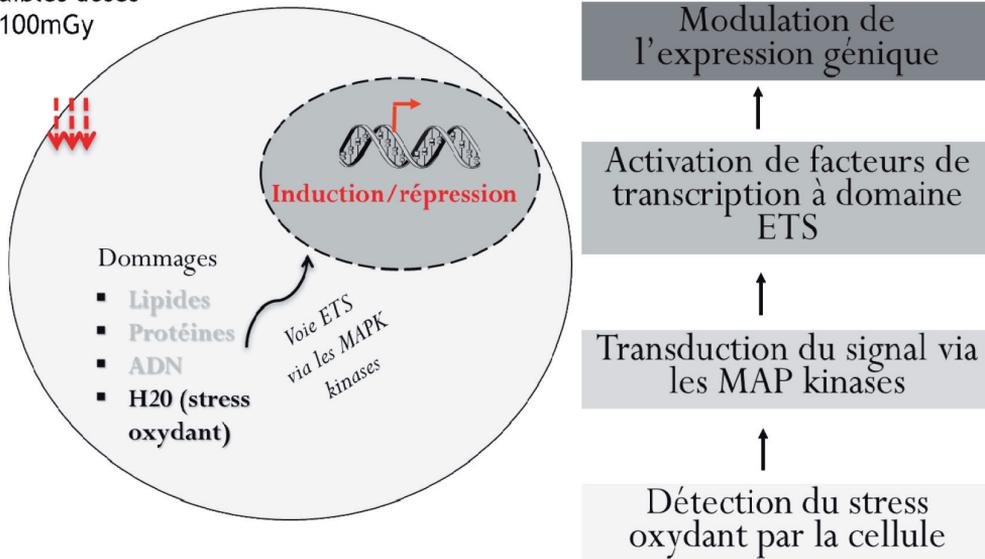
De nos jours, l'Homme est de plus en plus exposé aux radiations ionisantes. Les rayonnements ionisants sont devenus un outil incontournable de l'arsenal diagnostique et thérapeutique de la médecine. L'amélioration des connaissances des impacts biologiques de ces expositions est un enjeu sanitaire majeur car il permettrait de mieux prévenir les risques associés. De nombreuses voies de signalisation ou mécanismes moléculaires impliqués en réponse aux fortes doses de rayonnements ionisants ont été décrits dans la littérature. Cependant les mécanismes cellulaires et moléculaires mis en jeu lors d'une exposition aux faibles doses sont peu connus. La littérature concernant l'effet des faibles doses (<100 mGy) est nettement plus rare. Quelques études ont tout de même démontré des altérations de l'expression génique suites à une exposition cellulaire aux faibles doses sans toutefois élucider quelles en pouvaient être les origines et les conséquences.

L'enjeu principal de la thèse est de déterminer les mécanismes moléculaires impliqués dans cette réponse aux faibles doses de rayonnements ionisants. Pour cela, une approche large spectre par la biotechnologie « puces à oligonucléotides » a été choisie avec comme objectif d'identifier des « senseurs moléculaires » responsables de cette réponse aux faibles doses. Cette étude des modifications du transcriptome a été menée sur les lymphocytes T CD4+ isolés après irradiation (5mGy à 500mGy) ex vivo du sang total. Deux types de mécanismes moléculaires ont pu être mis en évidence. Le premier concerne une réponse dépendante de la dose et met principalement en jeu des gènes dont les protéines sont décrites comme impliqués dans la réponse aux dommages à l'ADN. Ces gènes sont principalement des cibles du facteur de transcription P53. Le deuxième mécanisme concerne un ensemble de gènes dont la modulation s'avère indépendante de la dose d'irradiation. Ces gènes ont un niveau d'induction élevé pour toutes les doses testées, même à 5 mGy. L'analyse in silico de leur séquence promotrice a permis de mettre en évidence la présence d'une séquence consensus de fixation de facteurs de transcription possédant un domaine ETS. Ces facteurs ETS sont connus pour être des cibles de la voie des MAP kinase connue pour être activées suite à divers stimuli y compris le stress oxydant, mais son activation en réponse aux très faibles doses de radiations ionisantes n'est, à ce jour, pas décrite.

L'étude de l'implication de ces voies de régulation dans la réponse aux faibles doses de rayonnements ionisants pourrait apporter un certain nombre d'éléments nouveaux notamment concernant la possible existence de différents niveaux de radiosensibilité aux faibles doses chez l'Homme.

.../...

Faibles doses
<100mGy



Mécanisme hypothétique en réponse aux faibles doses de radiations ionisantes

Sujet de la thèse :

Rôle des cellules souches mésenchymateuses (CSM) dans la modulation de la douleur viscérale associée à un modèle d'ulcération colorectale radio-induite.

Doctorant :	DURAND Christelle
Date du début de la thèse :	04/10/2010
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LRTE
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Marc Benderitter
tuteur IRSN :	Alexandra Sémont
Ecole doctorale :	Paris6/ED394 physiologie et physiopathologie

La radiothérapie permettant le traitement des cancers de la zone pelvienne peut être à l'origine de complications gastro-intestinales sévères et invalidantes. L'accroissement du nombre de cas recensé et la spécificité des symptômes a conduit certains spécialistes à parler d'une nouvelle pathologie : la « pelvic radiation disease ». La douleur viscérale chronique, une de ces complications, est décrite par les patients comme très intense et aucun traitement n'a été trouvé pour la soulager. Une meilleure compréhension des mécanismes cellulaires et moléculaires impliqués de sa radio pathologie est nécessaire pour le développement de nouvelles stratégies thérapeutiques. Dans ce contexte nous avons développé un nouveau model expérimental de douleur viscérale chronique radio-induite.

Des rats sont exposés à des rayonnements ionisants colorectalement à la dose de 27 Grays. A cette dose les altérations provoquées sont similaires à celles observées chez les patients soumis à une radiothérapie pelvienne bi-fractionnée (dose totale 45 Grays). La douleur viscérale a été évaluée pour des rats irradiés versus des rats témoins par une analyse de la viscéro-sensibilité motrice (VMR) en réponse à des distensions colorectales (CRD) 2, 4 et 8 semaines après irradiation. Une approche immunohistochimique a été utilisée pour étudier la neuroplasticité centrale (activation neuronale) et périphérique des fibres sensorielles afférentes au côlon distal.

Il n'existe pas de différence significative des VMR en réponse au CRD pour les temps 2, 4 et 8 semaines après irradiation, suggérant un état de douleur chronique. L'hyper excitabilité des neurones médullaires maintenu au cours du temps atteste d'une sensibilisation centrale sous-tendant cet état de chronicité. Quatre semaines après irradiation, les altérations histologiques nerveuses observées chez les patients ayant subi une radiothérapie de la zone colorectale sont similaires à celles observées chez l'animal. A ce temps, nous avons montré une hyperplasie des fibres nerveuses sensorielles associée à des modifications neurochimiques et fonctionnelles de la synapse au niveau de la lamina propria du côlon distal.

Ces résultats montrent qu'une dose unique d'irradiation colorectale de 27 Grays induit une douleur viscérale chronique dont le développement et le maintien sont liés à la mise en place d'une neuroplasticité au niveau central et périphérique.



Session

Recherche en environnement

Amphithéâtre Queen Mary 2

Mercredi 3 octobre : 14h00 - 16h00

Président : François Paquet
IRSN

Denis BOULAUD Présentation des recherches en environnement à l'IRSN

Marion JEAMBRUN, L'uranium et ses descendants dans la chaîne alimentaire

Anne VREL, Reconstitution de l'historique des apports en radionucléides et en contaminants métalliques à l'estuaire de la Seine par l'analyse de leur enregistrement sédimentaire

Névénick CALEC, Modélisation des transferts à l'interface de l'atmosphère et des hydrosystèmes continentaux

Guillaume DEPUYDT, Etude expérimentale in situ de l'efficacité de rabattement des aérosols par les pluies

Sujet de la thèse :
L'uranium et ses descendants dans la chaîne alimentaire.

Doctorant : Marion JEAMBRUN
Date du début de la thèse : 01/10/2009
Laboratoire : PRP-ENV/SESURE/LERCM
Financement de thèse : AREVA-IRSN
Directeur de thèse : Laurent POURCELOT,
François GAUTHIER-LAFAYE / Université Louis Pasteur Strasbourg
Tuteur de la thèse : Laurent POURCELOT
Ecole doctorale : Université de Strasbourg/ED STUE

Les isotopes de l'uranium, le thorium et leurs descendants se trouvent à l'état de traces dans les roches sur Terre. Lors de la formation des sols et des transferts sol-plante, ces radionucléides sont disséminés dans toutes les composantes de l'environnement. Par le biais des chaînes alimentaires, ils sont ensuite transférés aux animaux et à l'homme. L'objectif de cette étude consiste à améliorer les connaissances sur les niveaux et la variabilité des activités de l'uranium, du thorium et de leurs descendants dans différents types de denrées (légumes, céréales, viandes, œufs et produits laitiers) provenant de quatre régions caractérisées par différents substrats géologiques, grâce à des prélèvements in-situ et des mesures fines réalisées en laboratoire. Les sources potentielles de radionucléides des denrées (eau d'irrigation et sol pour les végétaux ; eau d'abreuvement, aliments et sol pour les produits animaux) sont également prélevées afin d'évaluer leur contribution aux activités mesurées.

Les résultats obtenus montrent une grande variabilité des activités dans les végétaux (^{238}U : 8-120 $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ frais dans les salades ; 12-169 $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ frais dans le blé), beaucoup moins prononcée dans les produits animaux (^{238}U : 1,7-9,7 $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ frais dans la viande de volaille ; 0,48 1,30 $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ frais dans les œufs). La source principale de radionucléides des végétaux semble être le sol de culture. L'eau d'irrigation, lorsqu'elle contient des concentrations en uranium significatives ($>30 \text{ mBq}\cdot\text{L}^{-1}$) peut également contribuer. Dans certains cas, la remise en suspension et l'adhésion à la surface des végétaux des particules de sol semble également importante. La source principale en ^{210}Pb des végétaux est le dépôt de particules atmosphériques. Concernant les produits animaux, des corrélations négatives ont été constatées avec les activités des aliments ingérés (^{238}U : $r^2=0,96$; ^{232}Th : $r^2=0,77$). Par contre, des corrélations positives entre les activités en ^{232}Th de la viande et celles du sol potentiellement ingéré ($r^2=0,96$) révèlent une contribution significative du sol à l'activité en thorium. La contribution de l'eau à l'activité en uranium dans les volailles constitue une piste à approfondir. Ainsi, l'étude des sources potentielles de radionucléides met en avant l'importance de leur rôle dans la compréhension des transferts des radionucléides aux produits alimentaires.

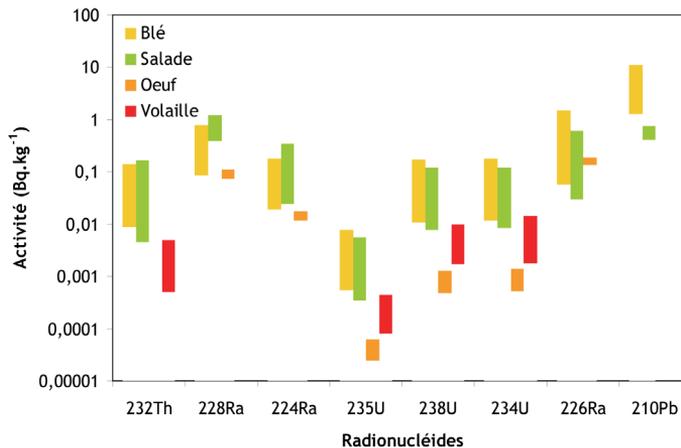


Figure : Activités des isotopes de l'uranium, du thorium et de leurs principaux descendants dans quelques productions végétales et animales.

Sujet de la thèse :

Reconstitution de l'historique des apports en radionucléides et en contaminants métalliques à l'estuaire fluvial de la Seine par l'analyse de leur enregistrement sédimentaire

Doctorant :	Anne VREL
Date du début de la thèse :	01/10/2009
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/LRC
Financement de thèse :	IRSN ; Région Basse-Normandie
Directeurs de thèse :	Patrick LESUEUR (Université de Caen); Dominique BOUST
Ecole doctorale :	Université de Caen - Ecole doctorale SIMEM (Structures, Information, Matière et Matériaux)

L'estuaire de la Seine est l'exutoire d'un bassin versant de 78 650 km² très anthropisé. L'évolution des apports en contaminants n'y était jusqu'alors connue que pour un nombre très limité de substances rejetées au cours des dernières décennies. Certaines zones marginales du fleuve (plaines d'inondation, bassins portuaires, vasières naturelles) ont piégé les particules fines auxquelles sont associés les contaminants ; elles donnent accès à des enregistrements sédimentaires exploitables, à condition qu'elles n'aient pas été perturbées par les aménagements, ce qui en fait des sites rares. Des carottages ont ainsi été effectués : (1) dans un bassin portuaire abandonné de l'estuaire fluvial ; (2) dans une plaine d'inondation fluviale, à 30 km en amont de l'estuaire (3) sur une vase intertidale de l'embouchure (estuaire marin). Après datation, ces carottes ont permis de reconstituer l'historique des apports particuliers en contaminants en chacun de ces sites.

La comparaison entre les séries temporelles des concentrations de certains éléments dans les matières en suspension et dans les sédiments des carottes datées montre que ces derniers constituent un enregistrement conforme aux apports. Les flux particuliers de 56 éléments stables et 19 radionucléides ont ainsi pu être calculés pour les 40 dernières années.

La comparaison des données acquises dans la partie fluviale de la Seine et dans l'estuaire fluvial a quant à elle permis de distinguer et de quantifier les sources intra-estuariennes de contaminants, dominées par les rejets de phosphogypses effectués dans les années 70 dans la région de Rouen (estuaire fluvial).

L'intensité du pompage tidal (remontée de matériel marin) dans l'estuaire fluvial de la Seine a pu être quantifiée en étudiant les rapports d'activités de certains radionucléides dans les sédiments datés de l'estuaire fluvial de la Seine et de l'estuaire marin.

Enfin, à partir de l'historique des activités atmosphériques de ¹³⁷Cs et des données acquises sur les carottes, un modèle de transfert du ¹³⁷Cs de l'atmosphère vers le fleuve a été établi. Une loi de lessivage par ruissellement et érosion est proposée, qui rend compte du transfert du ¹³⁷Cs depuis son dépôt sur le bassin versant jusqu'à son évacuation par les sédiments de la Seine.

.../...

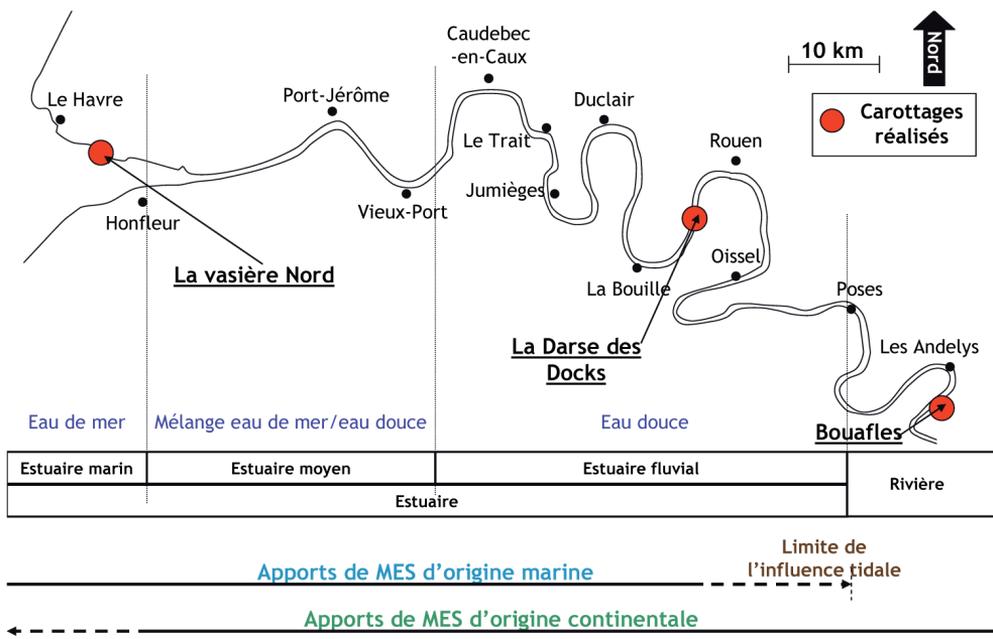


Figure 1 : Zonation de l'estuaire de la Seine et localisation des trois sites d'étude.

Sujet de la thèse :
Modélisation des dépôts d'aérosols à l'interface air-eau.

Doctorant : Névénick CALEC
Date du début de la thèse : 01/12/09
Laboratoire : PRP-ENV/SERIS/LM2E
Financement de thèse : IRSN/région PACA
Directeur de thèse : Fabien ANSELMET - IRPHE
Tuteur de thèse : Patrick BOYER
École doctorale : Université Aix-Marseille - Sciences pour l'ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique

Les recherches entreprises au Laboratoire de Modélisation pour l'Expertise Environnementale, en partenariat avec l'Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Équilibre, concernent le dépôt des aérosols secs submicroniques, sur une surface liquide déformée par le vent et avec un éventuel courant de l'eau. L'objectif est d'estimer à partir d'expériences en laboratoire les vitesses de dépôt sec pour différentes conditions air - eau, de vérifier leur cohérence avec les modèles de dépôt sur l'eau et d'identifier les améliorations à apporter.

L'étude bibliographique montre que la quantité de particules collectées par une surface dépend des conditions atmosphériques, des caractéristiques des aérosols et des spécificités de la surface. Par exemple, pour des mêmes conditions d'entrée, le flux de dépôt est dix fois inférieure sur une surface prairiale que sur une surface de conifères (Petroff and Zhang 2010). Dans ce contexte, ce sujet est motivé par l'absence d'études sur le dépôt sec de particules aux interfaces air-eau en mouvement (rivières).

Dans un premier temps, les expériences ont été réalisées dans la soufflerie à circuit fermé de l'IRPHE à Marseille-Luminy couplée à un canal hydraulique. Des particules mono-dispersées autour d'un diamètre en masse de 350 nm sont injectées dans la soufflerie pour différentes conditions d'écoulement de l'air et de l'eau : sans, contre et co-courant. La granulométrie, les températures air-eau et l'hygrométrie sont suivies à chaque expérience. Les profils de vitesses en très proche paroi et les hauteurs des vagues sont étudiés indépendamment sur plusieurs fetchs.

Les résultats montrent que les vitesses de dépôts secs sont comprises entre 10⁻⁵ et 10⁻⁶ m.s⁻¹. À faible vitesse de vent, elles dépendent de la vitesse du courant et sont maximales en co-courant (Figure 1). L'effet du courant devient négligeable lorsque le vent accélère.

Dans un second temps, la comparaison de ces vitesses aux modèles référents de Slinn, W. (1975) et Williams, R.M. (1982) souligne que ces modèles ne permettent pas de prendre en compte l'effet du courant. Plusieurs voies d'adaptation sont étudiées et notamment la caractérisation de l'épaisseur de la couche de dépôt en fonction de la vitesse de frottement.

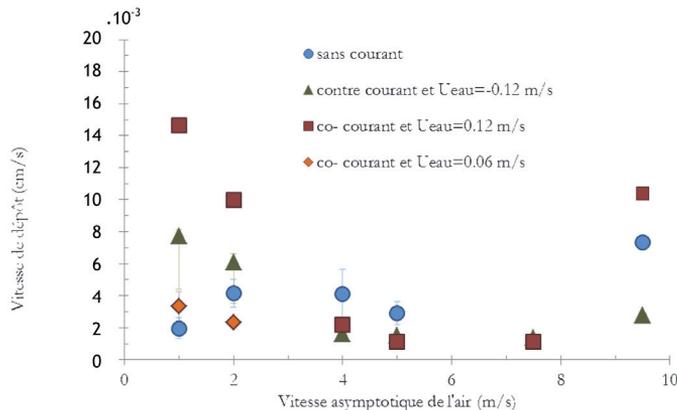


Figure 1 : Vitesses de dépôt dans la soufflerie IO et son canal à courant



Sujet de la thèse :

Etude expérimentale in situ du potentiel de lessivage des aérosols par les précipitations.

Doctorant :	Guillaume DEPUYDT
Date du début de la thèse :	01/10/2010
Laboratoire :	PRP-ENV/SESURE/LERCM
Financement de thèse :	Météo-France (co-financeur)
Directeur de thèse :	Jean-Louis BRENGUIER (Météo France)
Tuteur de thèse :	Olivier MASSON
Ecole doctorale :	INP Toulouse - Ecole doctorale SDU2E

Pour de nombreuses problématiques environnementales, l'estimation des transferts des aérosols de l'atmosphère vers les autres compartiments de la biosphère est essentielle. Le transfert par voie humide est un processus particulièrement efficace sur de courtes échelles de temps. Deux mécanismes distincts composent le dépôt humide : le lavage (captation des particules par les gouttes d'eau lors de la formation des nuages) et le lessivage (rabattement des aérosols par les gouttes lors de la chute de celles-ci durant des précipitations), qui se caractérise globalement par le coefficient de lessivage Λ .

Cette étude s'intéresse au lessivage des aérosols par différents types de précipitations en conditions in situ. Sur trois sites, les caractéristiques des précipitations (taille, vitesse de chute et phase des hydrométéores) sont mesurées par un disdromètre laser tandis que deux types de granulomètres (SMPS et OPC) sont utilisés pour mesurer les niveaux de concentration en particules (diamètres de 5 ou 250 nm à 32 μm).

Pour chaque gamme de taille de particules mesurée, les coefficients de lessivage sont calculés. A partir d'une classification des pluies (convective CV, mixte MX ou stratiforme ST) basée sur le profil des hyétoigrammes des pluies (intensité pluviométrique en fonction du temps), la figure 1 représente, en fonction du type de pluie, les coefficients $\Lambda(d_p)$ moyennés selon la taille des particules. La figure 2 représente les coefficients $\Lambda(d_p)$ moyens selon le site instrumenté. Malgré les conditions climatiques et d'empoussièrément différentes qui les caractérisent, la distinction de la relation $\Lambda=f(d_p)$ selon les sites n'est pas concluante. A l'inverse, la discrétisation en type de pluie donne des résultats plus spécifiques selon les types.

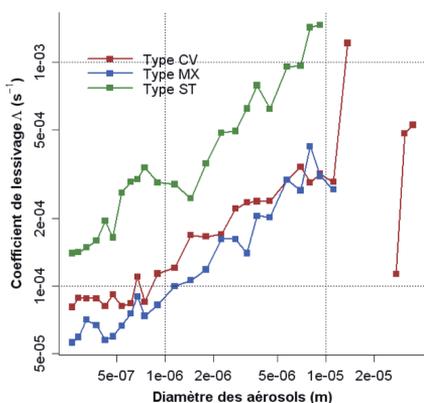


Figure 1 : $\Lambda(d_p)$ selon le type de pluie

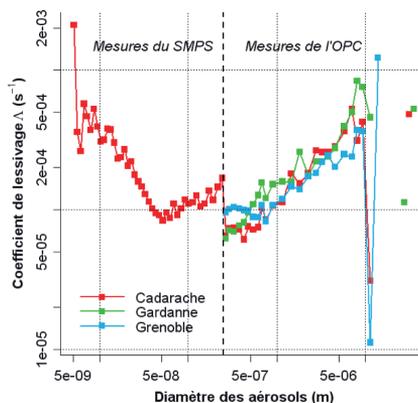


Figure 2 : $\Lambda(d_p)$ selon le site instrumenté

Cette première approche considère la durée totale de l'évènement pluvieux (quelques dizaines de minutes à quelques heures), et caractérise le lessivage par une approche inter-évènementiel à partir de paramètres moyens. Toutefois, la variabilité de ces paramètres à l'échelle intra-évènementiel peut être importante et avoir un impact significatif sur le lessivage des aérosols. L'étude du lessivage à des échelles de temps courtes (quelques minutes) permet de préciser cet impact.





Session parallèle

Recherche en environnement

Amphithéâtre Quenn Mary 2

Mercredi 3 octobre : 16h40 - 19h30

Président : Margot Tirmarche
IRSN

Alexandre DEVOS, Exposition chronique de l'huître japonaise au stade précoce de développement à des contaminants industriels rejetés en Manche. Mesure de marqueurs de stress à des niveaux intégrés et moléculaires

Antoine TAILLIEZ, Devenir des radionucléides à l'interface sol-racine et conséquences sur leur transfert aux plantes supérieures. Cas de l'uranium

Nicolas THEODORAKOPOULOS, Impact des radionucléides et des rayonnements sur les populations bactériennes de sols contaminés de Tchernobyl

Guillaume BUCHER, Développements analytiques pour la spéciation de l'uranium chez le poisson *Danio rerio* après exposition chronique

Morgan DUTILLEUL, Étude des réponses évolutives d'un nématode (*Caenorhabditis elegans*) soumis à des polluants

Benoit GOUSSEN, Prise en compte d'un modèle bioénergétique dans un modèle de dynamique adaptative pour une meilleure évaluation des risques écologiques : le cas d'une population de *Caenorhabditis elegans* soumise à divers stress anthropiques

Delphine PLAIRE, Étude de la toxicité de radionucléides pour la reproduction sexuée et les oeufs de résistance de *Daphnia magna* et conséquences pour la dynamique de population dans un environnement fluctuant

Sujet de la thèse :

Exposition chronique des stades précoces de développement de l'huître japonaise aux contaminants industriels en Manche. Marqueurs de stress à des niveaux intégrés et moléculaires.

Doctorant :	Alexandre DEVOS
Date du début de la thèse :	01/10/2010
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/LRC
Financement de thèse :	Cofinancement projet Européen CHRONEXPO - IRSN
Directeur de thèse :	Bruno FIEVET
Ecole doctorale :	Université de Caen Basse-Normandie / EdNBISE

En environnement marin, les organismes vivants sont exposés en continu à de faibles doses de contaminants d'origine anthropique, notamment dans le Nord Cotentin, aux radionucléides émis de manière contrôlée par l'industrie nucléaire. L'huître japonaise *Crassostrea gigas* est un produit à forte valeur ajoutée élevé massivement en Basse-Normandie. Ses stades précoces de développement sont supposés être plus sensibles aux contaminants que les adultes. Ainsi, les juvéniles de l'huître japonaise ont été retenus pour évaluer, en laboratoire, l'impact potentiel des rayonnements ionisants.

Dans un premier temps, du zinc stable a été utilisé comme contaminant test pour valider le modèle des juvéniles de *Crassostrea gigas*. Ensuite, deux types d'exposition chronique ont été réalisés pour explorer les deux composantes chimique et radiologique des radionucléides : une exposition externe à une source de ^{137}Cs et une exposition interne par balnéation au ^{241}Am (émetteur alpha). Des juvéniles ont été exposés pendant deux semaines à un débit de dose externe de $0,75 \text{ Gy.jour}^{-1}$ et à une concentration en ^{241}Am dans l'eau de mer de 50 Bq.mL^{-1} . Des paramètres biologiques intégrés et moléculaires ont été étudiés en parallèle pendant l'exposition. La mortalité et la croissance ont été suivies par analyse d'image sur un grand nombre d'individus pour pallier la forte variabilité interindividuelle. Conjointement, l'expression transcriptionnelle de 9 gènes ciblés, impliqués dans la réponse de l'organisme au stress, a été mesurée chez les juvéniles exposés au rayonnement gamma externe.

La croissance et les niveaux transcriptionnels des 9 gènes ciblés ne sont pas significativement affectés après deux semaines d'exposition externe. D'après les premières observations, le ^{241}Am ne semble pas avoir non plus d'effet sur la croissance et la mortalité. Ces résultats mettent en exergue la forte radiorésistance des jeunes huîtres exposées à des débits de doses supérieurs de plusieurs ordres de grandeur aux débits de doses rencontrés dans l'environnement naturel. D'autres paramètres, tels que des biomarqueurs de génotoxicité, potentiellement affectés par ces débits de dose, restent à explorer. Les mécanismes de radiorésistance des organismes vivants restent de nos jours mal connus. Comprendre la radiorésistance des invertébrés marins permettrait de mieux définir les normes de protection environnementales et serait également d'un grand intérêt pour la radiobiologie.

Sujet de la thèse :
Phytodisponibilité de l'uranium à l' interface sol-racine.

Doctorant :
Date du début de la thèse :
Laboratoire :
Financement de thèse :
Directeur de thèse :
Tuteur de thèse :
Ecole doctorale :

TAILLIEZ Antoine
02/11/2009
PRP-ENV/SERIS/L2BT
IRSN
Catherine Keller - CEREGE Aix
Pascale HENNER
Aix-Marseille Université / Géosciences Environnement

Ces travaux s'intéressent à l'uranium naturel, à son impact sur les végétaux et à leur rôle dans l'évolution de sa biodisponibilité dans les sols. Trois axes d'étude en découlent : toxicité du radioélément ; effet de l'activité racinaire sur sa mobilité ; potentialités de transfert aux plantes supérieures. Pour ce faire, le choix s'est porté sur le Lupin blanc, une espèce modèle caractérisée par une exsudation racinaire importante de citrate lors de carences en phosphore. Cet acide organique, utilisé par les plantes pour favoriser la remobilisation d'éléments nutritifs peu disponibles dans la solution du sol, est un chélatant susceptible d'accroître la phytodisponibilité de l'uranium et donc les risques de transfert à la chaîne trophique de l'Homme.

La première phase expérimentale, réalisée en milieu contrôlé (hydroponie), a eu pour objectifs de caractériser le comportement du Lupin blanc en présence de 20 μM d'uranium, une concentration représentative de la solution de sols fortement contaminés. La forte capacité de complexation entre phosphore et uranium a nécessité de travailler avec deux régimes nutritifs considérés comme carencé et adéquat (1 et 100 μM P respectivement) ce qui a permis de démontrer des différences significatives en termes d'effets, d'accumulation et de réponses racinaires. De manière étonnante, les plantes exposées non carencées ont montré une augmentation importante de leur exsudation de citrate couplée à une augmentation de la translocation de l'uranium des racines aux parties aériennes.

En se basant sur ces résultats, une seconde phase expérimentale sur sol naturellement contaminé a eu pour objectif de déterminer l'effet du citrate sur la remobilisation de l'uranium en solution et sur son transfert aux plantes. En réacteurs fermés, les résultats montrent une augmentation de la solubilité de l'uranium en présence de citrate. Néanmoins, l'augmentation du pool d'uranium disponible dans la solution du sol reste limité en regard des quantités totales présentes initialement dans le sol (0.1 à 0.6%). Lors d'expérimentations en rhizoplan, les plantes agissent également sur la remobilisation de l'uranium puisqu'une accumulation a pu être mise en évidence. Néanmoins, ni le régime phosphaté, ni les exsudations de citrate ne permettent de conclure sur un effet net de ces facteurs.

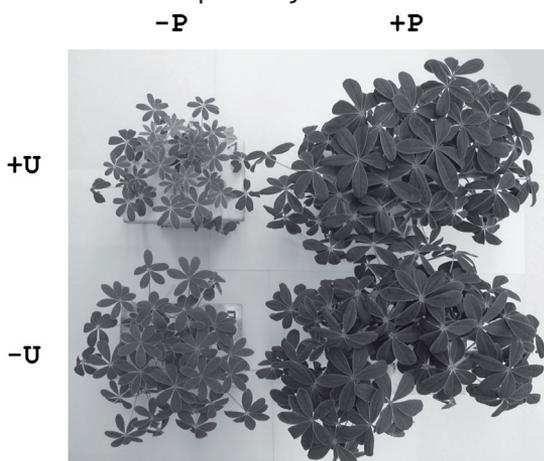


Figure 1 : Photographies du lupin blanc 49 jours après initiation de la germination en hydroponie.

Sujet de la thèse :
Etude des communautés bactériennes des sols de Tchernobyl.

Doctorant : Nicolas THEODORAKOPOULOS
Date du début de la thèse : 04/10/2010
Laboratoire : PRP-ENV/SERIS/L2BT
Financement de thèse : IRSN/région PACA
Directeur de thèse : Catherine BERTHOMIEU - CEA Cadarache
Tuteur de thèse : Laureline FEVRIER
Ecole doctorale : Université d'Aix-Marseille / Ecole Doctorale des Sciences de la Vie et de la Santé

Les accidents nucléaires des centrales de Tchernobyl et de Fukushima ont ravivé l'importance de comprendre les transferts de radionucléides dans l'environnement et les conséquences écologiques qui en découlent. Si de nombreuses études ont été réalisées sur les organismes supérieurs, peu ont étudié les communautés bactériennes telluriques. Or ces bactéries peuvent jouer un rôle essentiel dans la mobilité des radionucléides dans les sols en diminuant ou en favorisant leur transfert vers d'autres compartiments (eau, végétaux, animaux). Cependant les radionucléides peuvent aussi avoir des effets toxiques sur ces bactéries, entraînant alors une inhibition de leur rôle dans le transfert. Dans un premier temps, l'objectif de cette étude a donc été d'évaluer l'impact d'une contamination radioactive sur la diversité des communautés bactériennes.

Le site étudié est une tranchée située dans la zone d'exclusion de Tchernobyl et composée de sols, végétations et autres débris contaminés par l'explosion de la centrale. Les communautés bactériennes de sols prélevés à l'intérieur ou à l'extérieur de cette tranchée ont été analysées par pyroséquençage. Cette technique moléculaire a permis de démontrer la présence d'une grande diversité microbienne dans tous les sols analysés, y compris les plus contaminés, avec 17 phyla représentés. Les 4 phyla dominants, détectés dans tous les échantillons, sont les Chloroflexi, Proteobacteria, Acidobacteria et Verrucomicrobia. Ces données démontrent définitivement que l'exposition aux radionucléides au niveau de cette tranchée n'a pas conduit à la diminution de la diversité bactérienne à long terme. L'analyse statistique (analyse en composantes principales) de ces résultats a cependant mis en évidence une distinction claire entre les communautés bactérienne des échantillons dans et hors tranchées, suggérant la présence d'espèces plus adaptées aux conditions de la tranchée.

.../...

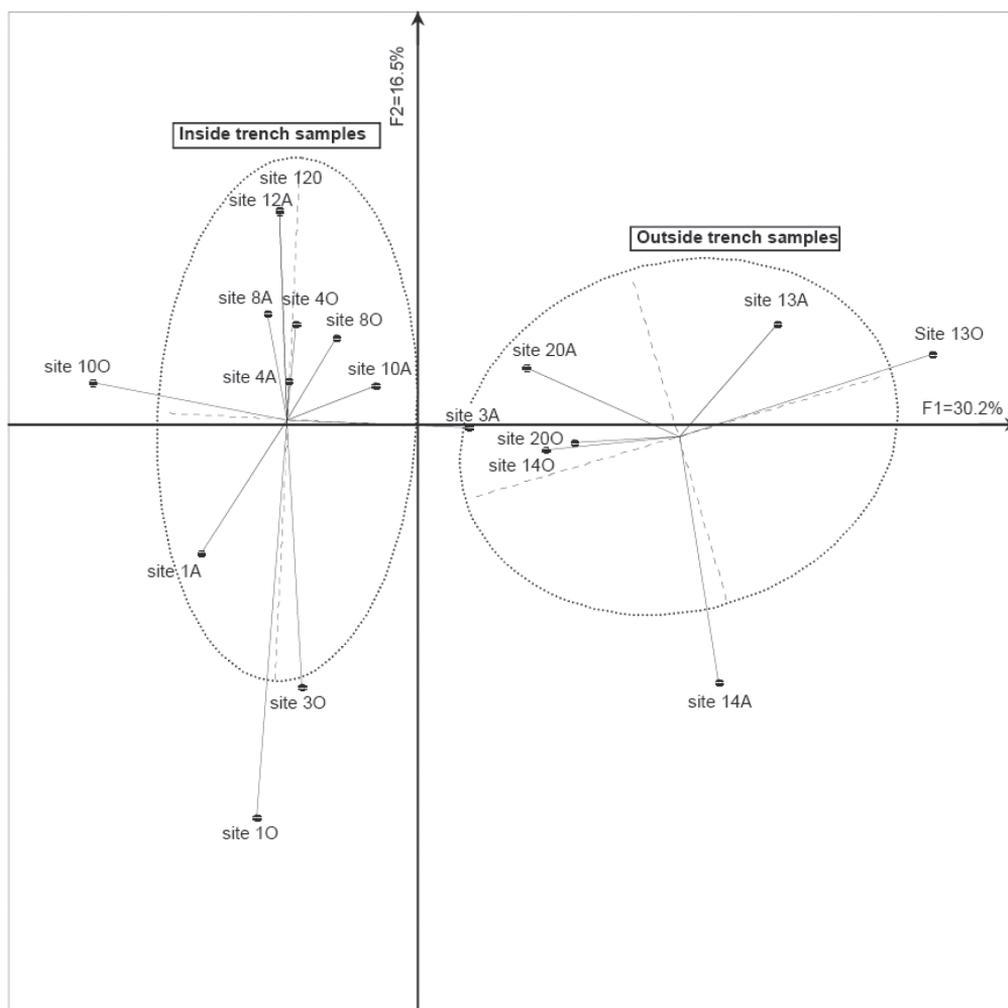


Figure : Analyse en composante principale des sites collectés hors/dans la tranchée n°22 en fonction de la diversité microbienne.

Sujet de la thèse :

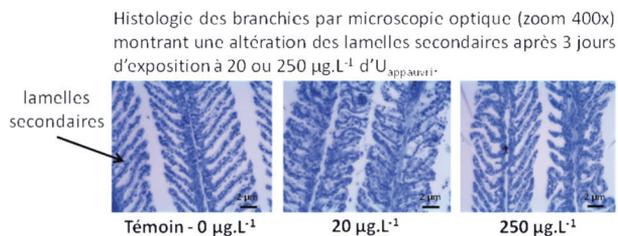
Développements analytiques pour la spéciation de l'uranium dans les branchies du poisson zèbre (*Danio rerio*) après exposition.

Doctorant : Guillaume BUCHER
Date du début de la thèse : 03/11/2010
Laboratoire : PRP-ENV/SERIS/L2BT
Financement de thèse : IRSN / région Aquitaine
Directeur de thèse : Ryszard Lobinski - CNRS Pau
Tuteur de thèse : Sandrine Frelon
Ecole doctorale : UPPA ED211 Sciences exactes et leurs applications

L'uranium, est un radionucléide primordial présent dans une large gamme de concentrations (ng.L^{-1} - mg.L^{-1}) dans les écosystèmes aquatiques. Généralement rencontré sous la forme du cation dur uranyle (UO_2^{2+}) en milieu aérobie, il présente une affinité particulière pour les biomolécules contenant des fonctions azotées et oxygénées (protéines, peptides...). Dans le cadre du programme ENVIRHOM notamment, il a été montré que l'exposition à cet élément, radio- et chimio-toxique, pouvait altérer le métabolisme de certains éléments essentiels (Ca et Fe), provoquer des atteintes histologiques des tissus (branchies, muscles ...) ou encore des dommages à l'ADN.

Chez le poisson, les branchies sont les portes d'entrée d'une exposition par voie directe et assurent une fonction respiratoire et chimiorégulatrice. L'exposition à certains métaux non-essentiels comme Ag, ou Pb peut entraîner une altération des branchies. Cette thèse a pour but d'étudier le devenir de l'uranium dans cet organe chez *Danio rerio*, organisme largement étudié en écotoxicologie, afin de contribuer à la compréhension globale des flux biologiques et de la toxicité de cet élément. La spéciation et la compartimentalisation d'un toxique au sein d'un organisme, tissu ou cellule jouant un rôle majeur sur sa toxicité, ceci passe par l'identification des biomolécules cibles de l'uranium dans la fraction cytosolique des branchies du poisson.

A ce jour, les poissons ont été exposés (3 et 30 jours à 0, 20 et 250 $\mu\text{g.L}^{-1}$ d'uranium appauvri) et une banque d'échantillons biologiques a été constituée. La bioaccumulation de l'uranium a été mesurée dans différents organes et l'histologie des branchies a été réalisée. Une méthode d'extraction de la fraction cytosolique branchiale a été mise au point et les cytosols ont été analysés par SEC-UV-ICP-HR-MS à l'échelle de l'individu. Ceci a permis de mettre en évidence une distribution différente de l'uranium parmi les protéines contenues dans le cytosol en fonction des conditions d'exposition, sans impact significatif sur celle des métaux essentiels observés (Cu, Zn, Fe).



Il s'agira maintenant de s'intéresser aux fractions protéiques d'intérêt, i.e. différentes d'une condition d'exposition à l'autre, et de poursuivre l'identification proprement dite des biomolécules cibles de l'uranium. Cela repose notamment sur le développement de nouvelles méthodes de fractionnement des échantillons (IEF hors-gel) et de séparation des biomolécules.

¹ Osmo- et iono-régulation (Na^+ , Cl^- , K^+ , Ca^{2+} ...), excrétion de NH_3 et CO_2

² Distribution d'un élément parmi des espèces chimiques définies au sein d'un système.

³ Chromatographie d'exclusion stérique (SEC) couplée en ligne avec un détecteur UV-Visible (UV) et un spectromètre de masse élémentaire haute résolution à plasma induit (ICP-HR-MS).

⁴ Focalisation isoélectrique

Sujet de la thèse :

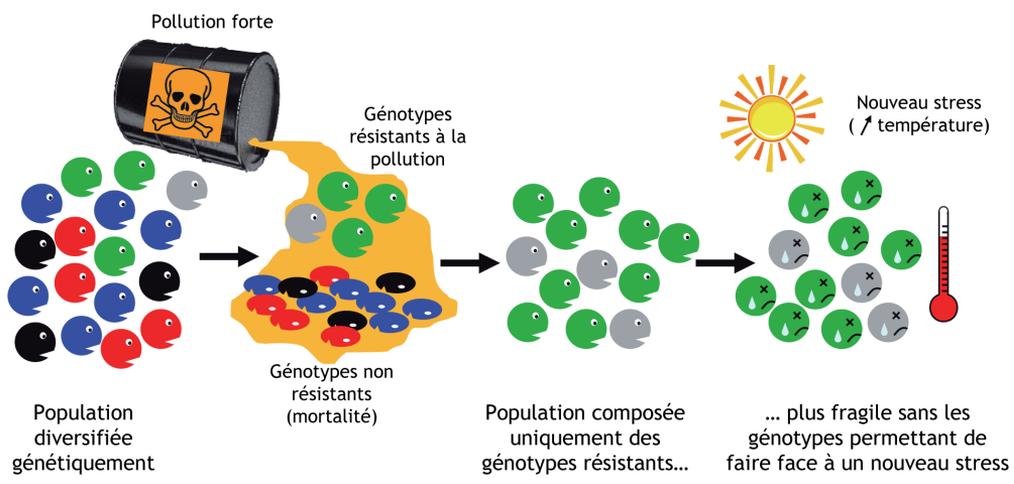
Réponses microévolutives et coûts adaptatifs d'une population de *C. elegans* exposée à diverses pollutions.

Doctorant :	Morgan DUTILLEUL
Date du début de la thèse :	02/11/2009
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/LECO
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Simon Galas (Montpellier), Denis Réale (Montréal)
Tuteur de thèse :	Jean-Marc BONZOM
Ecole doctorale :	Université de Montpellier I / ED : CBS2 Université du Québec à Montréal

Dans l'environnement, l'évolution contemporaine des organismes vivants est en grande partie dépendante des perturbations d'origine anthropique. En particulier, la pollution amplifie l'intensité des pressions de sélection auxquelles sont soumises les populations. Or ces changements peuvent avoir des effets négatifs sur la vie, la reproduction et la croissance des individus, la démographie de la population, mais aussi, au cours des générations, sur ses caractéristiques phénotypiques et génétiques. Ainsi en réponse aux pressions de sélection, des changements microévolutifs sont susceptibles de se manifester très rapidement. Ce phénomène entraîne parallèlement la mise en place de coûts adaptatifs. Par exemple, une réduction de diversité génétique pour la population induit une diminution du potentiel à s'adapter à d'autres stress (schéma), ce qui peut fragiliser le maintien de populations vivant dans des environnements toujours plus changeants, notamment avec l'accroissement des activités humaines.

Dans ce contexte, cette étude vise à déterminer les réponses microévolutives de populations d'un organisme modèle, *Caenorhabditis elegans*, exposées à diverses pollutions et à mesurer les conséquences de ces microévolutions. Ces populations ont été exposées expérimentalement, durant vingt générations, à une forte concentration en uranium, en chlorure de sodium ou à une alternance de ces polluants (environnement fluctuant). L'analyse des modifications phénotypiques et génétiques observées, au travers des mesures de traits d'histoire de vie, a été accomplie grâce à plusieurs techniques de génétique quantitative. Nous avons notamment confirmé l'augmentation de la résistance chez les populations exposées aux différentes pollutions, avec des vitesses de réponses évolutives dépendantes des conditions d'exposition. Ces phénomènes microévolutifs ont pu être reliés à des coûts adaptatifs, tels qu'une réduction de la fertilité, dans de nouveaux environnements stressants (ex : augmentation de la température) ou en l'absence de stress. Ainsi, même après plusieurs générations sans la présence de polluants, les populations adaptées voient leur fragilité augmenter par rapport à des populations non adaptées. Toutefois, nous n'avons pas identifié de surcoût pour les populations adaptées à l'environnement fluctuant par rapport aux populations adaptées à une pollution constante. Ce projet nous a permis de mieux identifier comment une exposition chronique à un ou deux polluants affecte la réponse évolutive d'une population de *C. elegans*, d'analyser les conséquences sur les processus évolutifs et d'évaluer le risque d'extinction des populations adaptées.

.../...



Sujet de la thèse :

Prise en compte d'un modèle bioénergétique dans un modèle de dynamique adaptative pour une meilleure évaluation des risques écologiques : le cas d'une population de *Caenorhabditis elegans* soumise à divers stress anthropiques.

Docteurant :

GOUSSEN Benoit

Date du début de la thèse :

03/10/2010

Laboratoire :

PRP-ENV/SERIS/LECO

Financement de thèse :

INERIS / IRSN

Directeur de thèse :

Alexandre Péry (INERIS)

Tuteur de thèse :

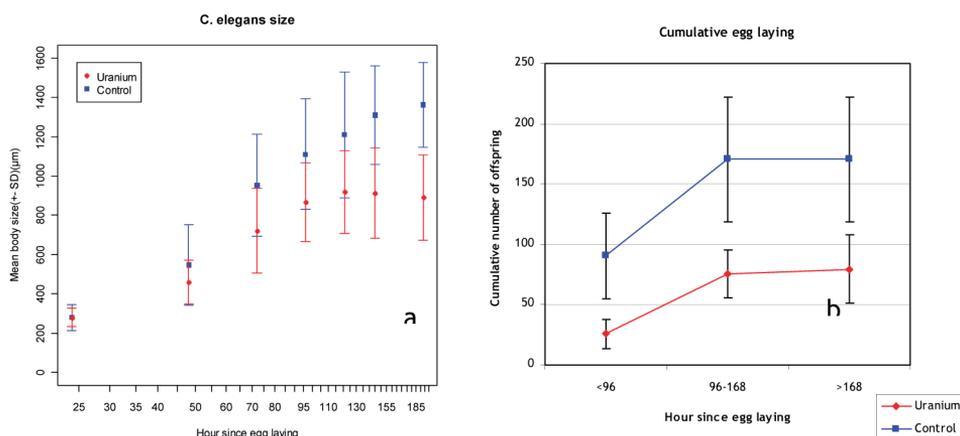
Jean-Marc BONZOM

Ecole doctorale :

AgroParisTech / Ecole doctorale ABIES

L'évaluation des effets des polluants à des échelles biologiquement et écologiquement pertinentes est un important problème dans la protection des écosystèmes. Néanmoins, il y a peu de données et de modèles qui prennent en compte les phénomènes d'adaptation pouvant apparaître au sein des populations stressées. Il est donc essentiel de comprendre et de quantifier la dynamique adaptative gouvernant les populations stressées afin d'évaluer les risques écologiques.

Dans ce contexte, nous adaptons un modèle bioénergétique de type Dynamic Energy Budget (DEB) afin d'étudier les phénomènes adaptatifs sur la dynamique de population de *Caenorhabditis elegans* exposé à un métal lourd radioactif, l'uranium. Il s'agit d'une base pertinente pour comprendre et modéliser les liens entre les perturbations liées à l'acquisition et à l'utilisation de réserves énergétiques et les fluctuations de croissance et de reproduction chez des organismes exposés à des stress anthropiques et d'évaluer les conséquences potentielles sur les populations sur plusieurs générations. Afin de répondre à cet objectif, (i) nous avons tout d'abord étudié les traits d'histoire de vie de *C. elegans* en condition contrôle afin de produire des données pour le modèle DEB, (ii) nous avons ensuite étudié les réponses de différentes générations de *C. elegans* exposés à une pollution multi-générationnelle (20 générations). Dans un premier temps, l'étude des traits d'histoire de vie en condition contrôle a permis d'obtenir des données utilisées dans l'adaptation d'un modèle DEB. Ensuite, l'étude des données issues de l'expérimentation multigénérationnelle nous montre que le cycle de vie des individus exposés a été sérieusement affecté par l'uranium et ce, quelque soit la génération. Par exemple, la taille ultime des individus de la première génération exposés à 1,1 mM U a été significativement diminuée comparativement aux organismes non exposés (respectivement $890 \pm 110 \mu\text{m}$ et $1361 \pm 109 \mu\text{m}$; moyenne \pm sd). De plus, la courbe de croissance de ces individus est décalée vers le bas (fig. 1a). Des effets similaires sont observables sur la taille de ponte (respectivement 76 ± 28 et 170 ± 51 ; moyenne \pm sd) et pour la courbe de ponte de *C. elegans* (fig. 1b). En conclusion, les résultats obtenus suggèrent un effet majeur de l'uranium sur les paramètres du modèle DEB et par conséquent sur les flux d'énergie au sein de l'organisme.



Sujet de la thèse :

Identifier la ou les causes de l'augmentation de la sévérité des effets au cours d'une exposition multigénérationnelle à de l'uranium appauvri chez *Daphnia magna* : Influence de l'exposition des œufs.

Doctorant :

Delphine PLAIRE

Date du début de la thèse :

18/10/2010

Laboratoire :

PRP-ENV/SERIS/LECO

Financement de thèse :

IRSN

Directeur de thèse :

Jean Christophe POGGIALE - Université Aix-Marseille

Tuteur de thèse :

Frederic ALONZO

Ecole doctorale :

AMU - Sciences de l'environnement - ED 251

Le programme ENVIRHOM a été lancé à l'IRSN pour évaluer les risques écologiques liés à la présence de radionucléides dans l'environnement. Dans ce contexte, ce travail de thèse s'intéresse aux effets toxiques multigénérationnels de l'uranium, radioélément présent naturellement dans l'environnement et dont l'abondance peut être modifiée suite aux activités liées au cycle du combustible nucléaire.

La toxicité de l'uranium est étudiée sur *Daphnia magna*, un microcrustacé d'eau douce couramment utilisé en écotoxicologie. Des individus sont exposés au cours de 2 générations successives à des concentrations allant de 2 à 50 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ afin d'évaluer au mieux son seuil de toxicité. Les expériences ont pour objet de déterminer les concentrations à partir desquelles des perturbations apparaissent à l'échelle moléculaire (altérations de l'ADN) et à celle de l'organisme (survie, croissance et reproduction). L'objectif est de préciser l'influence de l'exposition des œufs et d'élucider le mécanisme en cause dans l'aggravation de la sévérité des effets observée lors d'une exposition sur plusieurs générations successives (Massarin *et al.* 2010). Si la toxicité évolue au cours des générations, il devient utile de mettre en évidence des biomarqueurs moléculaires, dont la réponse précoce est représentative des effets à venir sur la reproduction et la survie des générations suivantes. On cherche donc à corrélérer l'intensité du stress toxique à des niveaux d'altération de l'ADN et à vérifier si les dommages s'amplifient au cours d'une génération et sont transmis à la descendance.



Daphnia magna

Les premiers résultats indiquent que les altérations de l'ADN (mesurées par la RAPD) ont tendance à augmenter d'une génération à l'autre et se déclenchent à des concentrations plus faibles (9,9 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ dans la F0 et 2 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ dans la F1) que les effets observés sur la croissance (22,2 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ dans la F0 et 9,9 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ dans la F1). Les dommages à l'ADN détectés à 2 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ dès l'éclosion de la génération F1 pourraient être un indice d'effets significatifs observés plus tardivement sur la reproduction (à partir de 15 jours).

La suite de ces travaux consistera à préciser les rôles respectifs de l'exposition des femelles et des œufs dans l'accumulation des dommages moléculaires et le développement de la réponse toxique de l'uranium appauvri.



Session parallèle

Modélisation des matériaux

Salle Bretagne

Mercredi 3 octobre : 16h40 -19h00

Président : Yann MONERIE
IRSN

Deyana TCHITCHEKOVA , Comportement à l'échelle atomique des impuretés dans les aciers ferritiques des réacteurs à eau sous pression

Alice DUFRESNE, Étude de la précipitation des hydrures dans les gainages par des approches atomistiques

Shuang WEN, Identification expérimentale de modèles de zones cohésives à partir de techniques d'imageries thermomécanique

Quoc Tang VO, Imagerie d'essais mécaniques sur des composites à matrice métallique : contribution expérimentale à la validation de méthodes d'homogénéisation et identification de propriétés mécaniques par phases

Nawfal BLAL, Modélisation micromécanique et identification inverse de l'endommagement



Sujet de recherche :

Vieillessement dans le fer : étude des interactions carbone-Dislocations par dynamique moléculaire.

Post-doctorante :

Deyana TCHITCHEKOVA

Date de début du post-doctorat :

27/02/2012

Laboratoire :

PSN-RES/ SEMIA/LPTM en collaboration avec INSA-Lyon

Tuteur :

Fabienne RIBEIRO

La plupart des aciers utilisés dans les centrales nucléaires subissent des traitements thermomécaniques de mise en forme (hypertrempes, laminages, traitements thermiques de revenu, de recristallisation...) qui leur confèrent les propriétés requises. Mais les matériaux peuvent se retrouver alors dans des états d'équilibre thermodynamique instables ou métastables. Sous l'effet de la température de fonctionnement, ils vont avoir tendance à évoluer pour retrouver plus ou moins vite leur état d'équilibre thermodynamique.

Ce retour à l'équilibre (*vieillessement*) se traduit par une évolution microstructurale et par une évolution des propriétés des matériaux : le plus souvent durcissement et fragilisation (perte de ductilité et/ou décalage de la température de transition fragile-ductile). Parmi les principaux mécanismes de vieillissement susceptibles d'apparaître sur les composants des centrales nucléaires, citons :

la précipitation : c'est la germination d'une seconde (ou de plusieurs) phase puis la croissance de cette phase jusqu'à l'obtention de l'équilibre thermodynamique et enfin éventuellement la coalescence.

la ségrégation des atomes interstitiels (carbone ou azote) sur les dislocations entraînent selon la température un vieillissement statique ou dynamique.

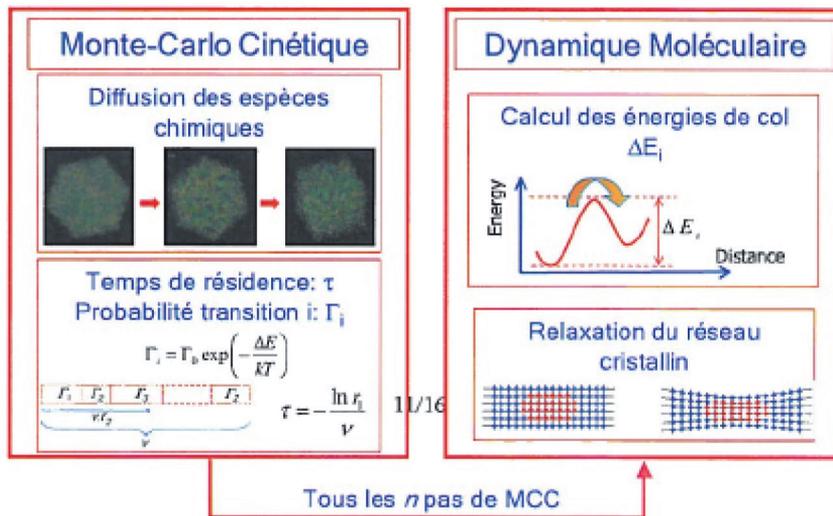
Ces deux mécanismes sont basés sur *la diffusion* et *la mobilité des dislocations*. Si les bases de la diffusion sont relativement bien connues dans une matrice libre de contrainte, il en est tout autrement quand les espèces diffusantes subissent un champ de contrainte de nature hétérogène lié à la présence des dislocations ou d'autres défauts. De plus, les processus physiques d'encrage- désencrage des dislocations sont assez mal connus. Dans les deux cas, la modélisation de ces mécanismes à l'échelle atomique permettrait de mieux comprendre et/ou de prédire le comportement des aciers lors du vieillissement.

L'objectif de ce projet est de développer une approche couplant deux techniques de simulation à l'échelle atomique : *la Dynamique Moléculaire (DM)* et le *Monte-Carlo Cinétique (MCC)* :

- Les méthodes de MCC traitent des sauts de différentes espèces atomiques dans un réseau rigide. La connaissance des potentiels d'interaction permet d'évaluer les probabilités de saut et les temps de résidence. Ces méthodes permettent de donner une description spatio-temporelle de différents phénomènes de transport (*i.e.* la précipitation) pour des systèmes allant jusqu'à plusieurs millions d'atomes et pour des durées de plusieurs milliers d'heures, mais elles ne prennent pas en compte implicitement tous les phénomènes qui vont perturber la régularité du réseau : dislocations, réseaux cristallins différents, ... ainsi que toutes les contraintes mécaniques qu'ils impliquent.
- La DM est basée sur la mécanique newtonienne. Les forces appliquées sont calculées à partir de la connaissance des potentiels d'interaction entre les atomes voisins. Cette technique a été utilisée avec succès pour modéliser la dynamique de dislocations ou certaines transformations de phases simples. Cependant, elle demeure très limitée à cause du temps simulé extrêmement court (environ 1 ns, c'est à dire quelques sauts d'un atome de carbone à 1000°C).



Couplage Monte-Carlo Cinétique / Dynamique Moléculaire



Sujet de la thèse :

Fragilisation des gainages combustibles nucléaires par les hydrures : étude par des approches atomistiques.

Doctorant :	Alice DUFRESNE
Date du début de la thèse :	01/10/2011
Laboratoire :	PSN/SEMIA/LPTM
Financement de thèse :	IRSN - CNRS CINaM - Région PACA
Directeur de thèse :	Guy Tréglià (CNRS)
Tuteur de thèse :	Fabienne Ribeiro
Ecole doctorale :	Aix-Marseille Université, Physique et Sciences de la Matière

Dans les réacteurs nucléaires, les gainages combustibles sont constitués d'alliages à base de Zirconium. Ces alliages ont en effet une très bonne résistance à la corrosion, de bonnes propriétés mécaniques à haute température et une faible section efficace d'absorption des neutrons. Les gainages constituent la première barrière structurale, qui contient le combustible et les produits de fission. Préserver l'intégrité des gaines est donc crucial pour la sûreté des réacteurs. En opération, la dissociation de l'eau conduit à l'oxydation des gainages en surface. L'hydrogène produit peut alors diffuser au travers de cette couche d'oxyde sous l'effet de la température, des contraintes locales et des gradients de concentration. Sa faible solubilité dans le Zirconium conduit à la formation d'hydrures de Zirconium qui fragilisent la gaine en dégradant les propriétés thermo-mécaniques du matériau.

Le but de cette thèse est d'explorer le diagramme de phases du Zr-H, de clarifier les mécanismes et la cinétique de précipitation et de remise en solution et de mieux comprendre et quantifier les corrélations entre contraintes locales dans le métal et précipitation des hydrures. Pour atteindre ces objectifs, nous avons choisi de mettre en œuvre des approches de modélisation atomistique basées sur la description des interactions électroniques via le formalisme de liaisons fortes. La température sera prise en compte au travers d'approches de type Monte-Carlo.

Les étapes pour accomplir ce travail sont les suivantes. D'abord, les paramètres de liaisons fortes seront dérivés avec l'aide de la DFT. La dépendance des intégrales de saut à la distance inter-atomique et la dérivation d'un potentiel suivront. Une validation systématique de ce modèle sera faite en comparant nos résultats à la théorie et aux résultats expérimentaux disponibles pour différentes stœchiométries d'hydrures de zirconium.

Ensuite, un code Monte-Carlo dans les ensembles canonique et grand-canonique sera développé afin d'étudier le comportement des hydrures en température. Le diagramme de phase sera ainsi clarifié.

Enfin, une étude systématique nous permettra de mieux comprendre la corrélation entre contraintes locales et solubilité des hydrures. Ici encore, les résultats seront systématiquement comparés aux résultats expérimentaux obtenus par O. Zanellato lors de son stage post-doctoral à l'IRSN.

Sujet de la thèse :

Identification expérimentale de modèles de zones cohésives à partir de techniques d'imagerie thermomécanique.

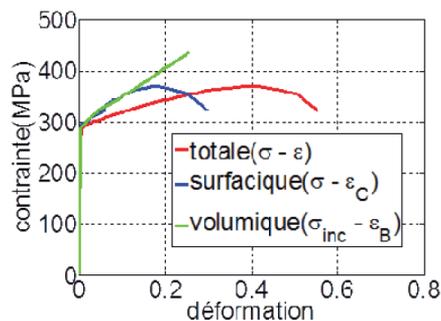
Doctorant :	Shuang WEN
Date du début de la thèse :	05/10/2009
Laboratoire :	PSN-RES/SEMIA/LPTM
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Bertrand WATTRISSE, Université de Montpellier
Tuteur de thèse :	Yann MONERIE
Ecole doctorale :	Montpellier - Information, Structures, Systèmes (I2S)

Les modèles de zone cohésive ont été introduits par les travaux de Dugdale et de Barenblatt. Ils sont particulièrement efficaces pour simuler numériquement les processus de fissuration des matériaux. Ces modèles consistent à introduire des comportements adoucissants à la frontière des éléments « volumiques » d'une discrétisation de type éléments finis, permettant ainsi la simulation numérique de l'initiation, de la croissance et de la coalescence de microfissures, de l'apparition d'une macrofissure et de la ruine du matériau. La caractérisation expérimentale de ces modèles (forme de la loi, paramètres) reste un enjeu majeur et peu abordé du domaine.

Ces modèles sont interprétés ici comme un moyen de résumer l'endommagement volumique de la matière (associé à la localisation de la déformation puis à la fissuration) sur une surface. On ne suppose pas la forme de zone cohésive, ni le trajet de fissuration à l'avance. L'objectif de ce travail est double : 1/ proposer des méthodes permettant de caractériser la réponse thermomécanique des processus de déformation mis en jeu afin d'identifier la forme et les paramètres des modèles cohésifs, 2/ proposer une interprétation physique de certains paramètres tels que la longueur caractéristique introduite par les modèles cohésifs.

Jusqu'à présent, les lois d'interface ont été souvent étudiées dans la littérature par des réponses globales d'échantillons soumis à des chargements standards. La méthode proposée dans le cadre de ce travail, pour identifier le modèle de zone cohésive, est basée sur les réponses locales du matériau (Fig). Ces réponses peuvent être obtenues à partir des mesures locales cinématiques données par corrélation d'images numériques (CIN). Les résultats obtenus soulignent le potentiel de la CIN à analyser l'endommagement de façon quantitative et de montrer comment les paramètres de l'endommagement interviennent pour l'identification de modèles de zone cohésive.

Un bilan énergétique est ensuite établi en combinant les mesures cinématiques données par CIN et les mesures thermiques obtenues par thermographie infrarouge. Ce bilan permet d'étudier la cohérence des modèles de zone cohésive du point de vue énergétique et de valider le protocole expérimental d'identification proposé.



Sujet de la thèse :

Imagerie d'essais mécaniques sur des composites à matrice métallique : contribution expérimentale à la validation de méthodes d'homogénéisation et identification de propriétés mécaniques par phases.

Docteurant :

VO Quoc Thang

Date du début de la thèse :

01/10/2010

Laboratoire :

PSN-RES/SEREX/LE2M

Financement de thèse :

CNRS/IRSN

Directeur de thèse :

Stéphane PAGANO, Directeur de Recherche, CNRS-Montpellier

Tuteur IRSN :

Christian Duriez

École doctorale :

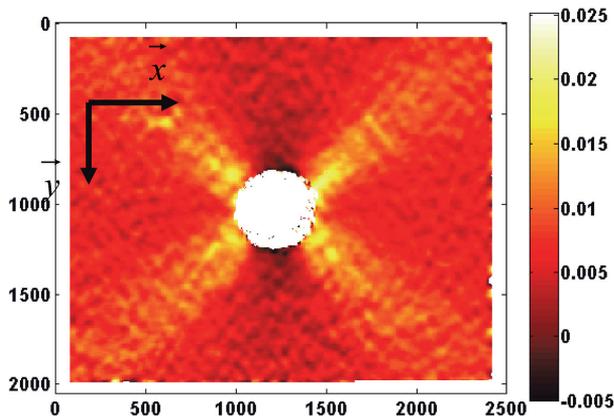
Université Montpellier 2, Information, Structures, Systèmes (I2S)

Après un accident de perte de réfrigérant primaire (APRP), le matériau constituant les gaines de combustible, un alliage à base de zirconium, présente à cœur une microstructure composite constituée d'inclusions de la phase α du zirconium (enrichie en oxygène) dans une matrice en phase ϵ - β (pauvre en oxygène). Pour décrire le comportement mécanique de ce type de matériau composite, des modèles d'homogénéisation sont développés, qui visent à déterminer les propriétés effectives d'un matériau homogène équivalent à partir de la connaissance des propriétés de chaque phase et de la répartition des phases. L'objectif principal de la thèse est de déterminer, par ce type d'approche et par une méthode inverse, les propriétés mécaniques de chaque phase à partir de mesures locales de déformation et de la mesure de la réponse mécanique macroscopique du matériau. Pour cette démarche inverse, nous avons utilisé principalement la méthode d'estimation de Mori-Tanaka, valide dans le domaine élastique et en déformations planes.

Dans une première étape, nous avons montré, à partir d'un « essai » de traction simulé numériquement (CAST3M), que l'erreur introduite par cette méthode d'estimation reste inférieure à 5% tant que la fraction d'inclusion dans le matériau ne dépasse pas 20%.

Nous avons ensuite réalisé des essais de traction uniaxiale monotone sur des éprouvettes planes de Zircaloy-4, en filmant pendant l'essai l'échantillon au moyen d'un microscope optique, qui permet d'observer la microstructure du matériau. Nous utilisons la technique de Corrélation d'Images Numériques (CIN) pour déterminer les champs de déformations locales à l'échelle du μm . Dans le processus de préparation des éprouvettes, une étape d'attaque chimique permet de créer à la surface des échantillons les motifs (observables en microscopie) nécessaires à la mise en œuvre de la CIN.

Deux types d'éprouvette ont été analysés :



- Des éprouvettes modèle : plaques de 435 μm d'épaisseur, percées de un ou quatre trous, de 90 μm de diamètre. Les trous jouent ici le rôle d'inclusions cylindriques calibrées ;
- Des plaques oxydées dans des conditions proches de celles d'un APRP.

Des résultats de champs bidimensionnels de déplacements et déformations obtenus pour ces deux types d'éprouvette sont présentés. Ils sont analysés par mise en œuvre de la démarche d'identification inverse.

Essai de traction uniaxiale monotone suivant \vec{y} sur éprouvette Zircaloy-4 micro-percée : champ de déformations d'une surface 590 μm x 494 μm autour du trou de section circulaire de diamètre 90 μm , pour une déformation macroscopique $E_{yy} = 0,78\%$.

Sujet de la thèse :

Modélisation micromécanique et identification inverse de l'endommagement.

Doctorant :	BLAL Nawfal
Date du début de la thèse :	01/10/2010
Laboratoire :	IRSN/PSN/SEMIA/LPTM
Financement de thèse :	Contrat doctoral ministériel
Directeur de thèse :	Stéphane PAGANO - CNRS-Montpellier
Co-directeur :	Loïc DARIDON - Université Montpellier 2
Tuteur IRSN :	Yann MONERIE
Ecole doctorale :	Université Montpellier 2, Information, Structures, Systèmes (I2S)

Dans la mise en place d'outils numériques prédictifs pour la simulation de scénarii d'accidents, il est nécessaire de modéliser les comportements adoucissants (fissuration et rupture) du combustible nucléaire et de son gainage. L'approche cohésive-volumique basée sur les modèles de zones cohésives (M_{ZC}) est à la fois simple et efficace. Au travers d'une loi surfacique reliant l'effort de résistance à la séparation des lèvres d'une fissure en train de se créer à son ouverture, ces modèles permettent de suivre les mécanismes d'endommagement surfacique depuis l'amorçage des microfissures jusqu'à la rupture totale du matériau. Ils présentent cependant une forte dépendance au maillage et une difficulté de calibrage des paramètres cohésifs. Quelques critères d'usage ont été obtenus dans la littérature, mais ces aspects numériques et mécaniques restent grandement ouverts.

Dans cette thèse, un modèle micromécanique d'endommagement, issu d'une discrétisation cohésive-volumique de type éléments finis, est développé. Le principe de la modélisation proposée consiste à remplacer le milieu discrétisé par un milieu continu (même comportement durcissant "volumique" que les éléments finis), et qui contient des inclusions "cohésives" (même comportement adoucissant que les modèles cohésifs). Le comportement global équivalent associé est recherché en s'appuyant sur des méthodes d'homogénéisation. L'étude est faite en deux étapes :

- i) Comportement élastique : une borne inférieure est obtenue à l'aide de l'estimation de Hashin et Shtrikman. Un critère rigoureux est établi pour la calibration des raideurs cohésives initiales dans l'optique de ne pas affecter l'élasticité globale de la structure étudiée.
- ii) Comportement endommageable : le schéma d'homogénéisation linéaire est étendu au comportement endommageable à l'aide de la méthode variationnelle de P. P. Castañeda. Ce résultat permet de relier explicitement les paramètres locaux (cohésifs) et globaux (élasto-endommageables) et aboutit à une calibration des paramètres cohésifs endommageables (contrainte maximale, énergie de rupture).

L'analyse proposée est valide à tout taux de triaxialité et permet de dériver un comportement global (propriétés macroscopiques de rupture) indépendamment de la taille du maillage. Elle peut être aisément étendue au cas d'un comportement plastique.





Mercredi 3 octobre : 20h30

Amphithéâtre Queen Mary 2

Contribution des doctorants et post-doctorants de l'IRSN aux Assises de l'enseignement supérieur et de la recherche

Les Assises de l'enseignement supérieur et de la recherche ont pour objectif, à travers différentes formes d'échanges, de faire émerger des propositions innovantes et efficaces pour favoriser un meilleur fonctionnement du système d'enseignement supérieur et de recherche français, et renforcer son apport au reste de la société.

Ces propositions se concentreront autour de trois objectifs principaux :

- Agir pour la réussite de tous les étudiants ;
- Donner une nouvelle ambition pour la recherche ;
- Concevoir le nouveau paysage de l'enseignement supérieur et de la recherche.

Le dépôt des contributions doit être réalisé avant la tenue des Assises mi-octobre. Ces propositions seront organisées dans un rapport remis par la Présidente du Comité de pilotage à la Ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche en décembre 2012.



Session parallèle

Dosimétrie, spectrométrie des neutrons

Amphithéâtre Queen Mary 2

Jeudi 4 octobre : 8h20- 10h00

Président : Eric Blanchardon
IRSN

Julien TAFORÉAU, Développement d'un spectromètre neutrons de haute résolution, utilisant des capteurs CMOS, dédié à des mesures de référence auprès des installations du LMDN : TPR-CMOS

Adrien CHEMINET, Développement d'un système opérationnel de spectrométrie neutron dédié à la caractérisation de l'environnement radiatif naturel atmosphérique, mise en activité au Pic du Midi

François VIANNA, Développement technique, installation et validation d'une ligne d'irradiation ciblée par faisceau d'ions pour la radiobiologie sur la plate-forme AMANDE

Morgane DOS SANTOS, Modélisation de la topologie des dépôts d'énergie créés par un rayonnement ionisant à l'échelle nanométrique dans les noyaux cellulaires et relation avec les évènements précoces radioinduits

Sujet de la thèse :

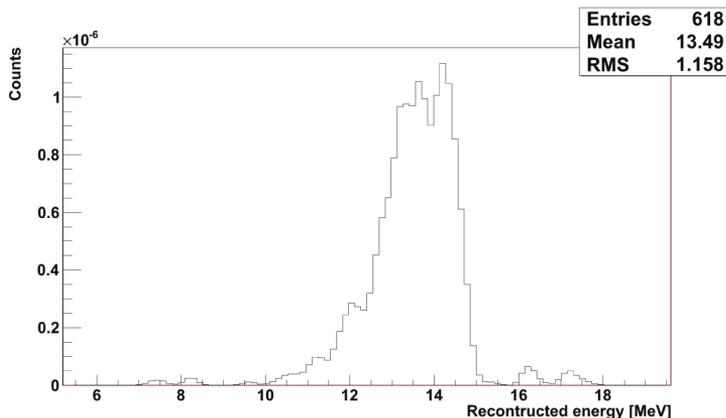
Développement d'un télescope à protons de recul utilisant des capteurs CMOS pour caractérisation de champs neutroniques.

Doctorant : **Julien TAFOREAU**
Date du début de la thèse : **18/10/2010**
Laboratoire : **PRP-HOM/SDE/LMDN**
Financement de thèse : **IRSN/LNE**
Directeur de thèse : **Daniel HUSSON - IRES Strasbourg**
Tuteur de thèse : **Léna LEBRETON**
Ecole doctorale : **Université de Strasbourg/Ecole doctorale de physique et chimie-physique**

Le Laboratoire de Métrologie et de Dosimétrie des Neutrons (LMDN) de l'IRSN dispose d'une installation, nommée AMANDE, capable de délivrer des champs neutroniques mono-énergétiques allant de 2 keV à 20 MeV. Le LMDN, en tant que laboratoire associé au LNE (Laboratoire National de Métrologie et d'Essai), a pour mission de caractériser l'énergie et la fluence neutronique avec des instruments et des méthodes primaires. Le LMDN développe actuellement, en collaboration avec le groupe RaMSeS de l'IPHC Strasbourg, un détecteur susceptible de devenir étalon primaire pour la caractérisation des champs neutronique. Ce détecteur est un télescope à protons de recul, utilisant la technologie CMOS pour les énergies allant de 5 MeV à 20 MeV. La thèse, financée conjointement par l'IRSN et le LNE s'inscrit dans un cadre métrologique rigoureux et demande ainsi une maîtrise importante des incertitudes de mesures fournies par le détecteur.

Le sujet de la thèse est ancré dans le domaine de l'instrumentation fine pour la neutronique, mettant en jeu des capteurs de technologie avancée. Un tel télescope permet en effet une mesure simultanée de l'angle de diffusion des protons de recul ainsi que de leur énergie. Cependant, les projets existants ne permettent pas de reconstruire cette énergie avec une efficacité de détection satisfaisante (de l'ordre de 10-6). De plus, une qualification métrologique demande un travail intense de compréhension des limites actuelles de l'instrument, ainsi qu'une estimation rigoureuse des incertitudes de mesures de l'instrument.

Les résultats obtenus jusqu'à présent sont d'ores et déjà très encourageants : la mesure de l'énergie des champs neutronique à été démontrée dans la gamme de fonctionnement du télescope pour trois énergies 5, 14 et 17 MeV. La reconstruction ne présente pas ou peu de biais systématique et l'estimation des incertitudes réalisée par propagation Monte-Carlo indique une précision de l'ordre de 5 à 10 % suivant l'énergie. Concernant la mesure de la fluence neutronique, les mesures indiquent une sous estimation de la fluence neutronique de l'ordre de 30 à 40%. De nouvelles investigations sont encours afin d'identifier cette sous évaluation de la fluence neutronique. Une campagne de mesure est notamment prévue afin d'estimer l'efficacité intrinsèque des capteurs de positions CMOS



Estimation de l'énergie d'un champ neutronique de 14 MeV après reconstruction et élimination du bruit de mesure

Sujet de la thèse :

Développement d'un système opérationnel de spectrométrie des neutrons étendu au domaine des hautes énergies et dédié à la caractérisation de l'environnement radiatif naturel atmosphérique.

Docteurant :	Adrien CHEMINET
Date du début de la thèse :	01/10/2010
Laboratoire :	PRP-HOM/SDE/LMDN
Financement de thèse :	ONERA/IRSN/région Midi-Pyrénées
Directeurs de thèse :	Daniel BOSCHER (ONERA) - Guillaume HUBERT (ONERA)
Tuteur de thèse :	Véronique LACOSTE
Ecole doctorale :	Toulouse - Ecole doctorale Astronautique-Aéronautique

Cette thèse est le fruit d'une collaboration entre le Laboratoire de Métrologie et Dosimétrie des Neutrons (LMDN) de l'IRSN et le Département d'Environnement Spatial de l'Office National d'Etudes et Recherches Aéronautiques (ONERA). Elle s'inscrit dans les activités de dosimétrie externe du pôle Radioprotection de l'Homme. En effet, des champs de particules complexes mixtes (neutrons, photons γ , protons...) et de hautes énergies (>20 MeV) peuvent être engendrés à proximité d'accélérateurs de particules utilisés pour les hadron-thérapies ou directement dans l'atmosphère sous l'effet du rayonnement cosmique. Le suivi dosimétrique du personnel médical ainsi que du personnel embarqué en avion s'avère nécessaire du fait de leur exposition répétée à ces champs de radiation.

Afin de caractériser ces champs neutroniques, le LMDN a développé depuis 2008 un spectromètre à neutrons étendu aux domaines des hautes énergies afin d'évaluer la distribution en énergie de la fluence des neutrons aussi bien à fort débit de fluence (médical) qu'à faible débit de fluence (avionique). La première étape de ces travaux a été de calibrer et valider les fonctions de réponse des détecteurs constituant le spectromètre qui ont été préalablement calculées par simulation Monte Carlo. Cette étape de calibration s'est déroulée auprès de nombreuses installations européennes produisant des champs neutroniques de référence (sources de radionucléides de l'IRSN, neutrons monoénergétiques au NPL, neutrons quasi-monoénergétiques de hautes énergies à TSL et champs réalistes à TSL et au CERN). Des méthodes de traitement des données ont également été développées afin de reconstruire les spectres neutroniques à partir des mesures expérimentales (algorithme de déconvolution).

L'ONERA s'est doté d'un système identique afin de caractériser l'environnement radiatif naturel atmosphérique à long terme pour des applications liées à la fiabilité de composants microélectroniques et de météorologie spatiale. Dans cette optique, le spectromètre a été installé depuis mai 2011 en altitude (+2900 m) au Pic du Midi dans les locaux de l'Observatoire de Midi-Pyrénées (OMP). Les mesures en continu depuis cette période ont permis de développer une méthodologie d'analyse systématique des données incluant l'étude des incertitudes. Les résultats en termes d'évolution temporelle de grandeurs dosimétriques (dose efficace et équivalent de dose ambiant) sont ici présentés.



Figure 1 - L'Observatoire du Pic du Midi et le Spectromètre situé dans la plus haute salle

Sujet de la thèse :

Développement technique, installation et validation d'une ligne d'irradiation ciblée par faisceau d'ions pour la radiobiologie sur la plate-forme AMANDE.

Doctorant :

François VIANNA

Date du début de la thèse :

01/11/2010

Laboratoire :

PRP-HOM/SDE/LMDN - CENBG (Bordeaux)

Financement de thèse :

IRSN / CNRS

Directeurs de thèse :

Philippe MORETTO - CENBG

Tuteur de thèse :

Vincent GRESSIER et Philippe BARBERET - CENBG

École doctorale :

Université Bordeaux 1 / École doctorale Sciences Physiques et de

l'Ingénieur

L'IRSN et le Centre d'Études Nucléaires de Bordeaux-Gradignan (CENBG) ont engagé un partenariat dans le cadre du programme ROSIRIS visant notamment à mettre en place une ligne d'irradiation ciblée par faisceaux d'ions sur l'accélérateur AMANDE (site de Cadarache). L'intérêt de ce type d'instrument pour des études de radiobiologie expérimentale réside dans sa capacité à déposer sélectivement dans des compartiments cellulaires (typiquement le noyau) un nombre prédéterminé d'ions. Il est ainsi possible de contrôler la dose déposée dans chaque cellule ainsi que la cible intracellulaire. Le CENBG dispose depuis quelques années d'un tel outil. Une nouvelle version est actuellement en développement, et sert de prototype pour la ligne qui sera installée sur AMANDE.

Les objectifs de cette thèse sont de participer à la mise en service de la nouvelle ligne du CENBG, et aux développements qui lui sont associés tels que développements logiciels, techniques de détection et d'irradiation ou techniques de microscopie. Il est aussi nécessaire de valider la ligne pour mener des expériences sur échantillons biologiques de manière reproductible et rigoureuse. En parallèle, un travail de modélisation numérique est également mené, que ce soit au niveau faisceauologie, mais également au niveau de la dosimétrie à l'échelle cellulaire, pour pouvoir rapprocher les résultats physiques de dépôts d'énergie dans les cellules de leurs conséquences biologiques.

Un certain nombre de résultats ont d'ores et déjà été obtenus et permettent une première évaluation des performances de la ligne du CENBG. La taille du faisceau à l'air et la précision de tir du système ont été mesurées grâce à plusieurs expériences indépendantes, réalisées sur détecteur de traces (CR39) et sur cellules vivantes. Les irradiations sur CR39 ont montré que le faisceau à l'air avait un diamètre d'environ $2 \mu\text{m}$, pour des protons ou des alphas. La précision de tir, mesurée directement sur cellules vivantes, est de $2,0 \pm 0,7 \mu\text{m}$. Des premières expériences de vidéo-microscopie en ligne ont également été effectuées et ont permis d'obtenir des films de la relocalisation d'une protéine impliquée dans la réparation des cassures simple brin de l'ADN après des irradiations à forte dose.



Figure 1 : La ligne de faisceau du CENBG

Sujet de la thèse :

Modélisation de la topologie des dépôts d'énergie créés par un rayonnement ionisant à l'échelle nanométrique dans les noyaux cellulaires et relation avec les événements précoces radio-induits

Doctorant :	DOS SANTOS Morgane
Date du début de la thèse :	01/10/2010
Laboratoire :	PRP-HOM/SDE/LDRI
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Sébastien Incerti - CENBG
Tuteur de thèse :	Carmen VILLAGRASA
Ecole doctorale :	Université Bordeaux 1 - Sciences physiques

Mon travail de thèse s'inscrit, au sein du projet ROSIRIS de l'institut, dans la modélisation des dépôts d'énergie créés par l'irradiation au niveau intracellulaire qui sont à la base des événements précoces radio-induits étudiés dans ce projet, les cassures double brin (DSB) de l'ADN. Le détail nanométrique sur la topologie des dépôts d'énergie nécessaire à ce travail ne peut être étudié que par modélisation Monte Carlo. Ainsi, le code Geant4 et, en particulière son extension Geant4-DNA pour des processus à très faible énergie sont utilisés dans ce travail.

L'ADN étant la cible critique des rayonnements ionisants, le premier objectif de mon travail de thèse a été de réaliser une géométrie détaillée de celui-ci afin de l'implémenter dans les calculs Monte Carlo. Deux types de noyaux cellulaires, représentant un fibroblaste et un endothélium, ont été décrits afin d'évaluer l'influence de la densité

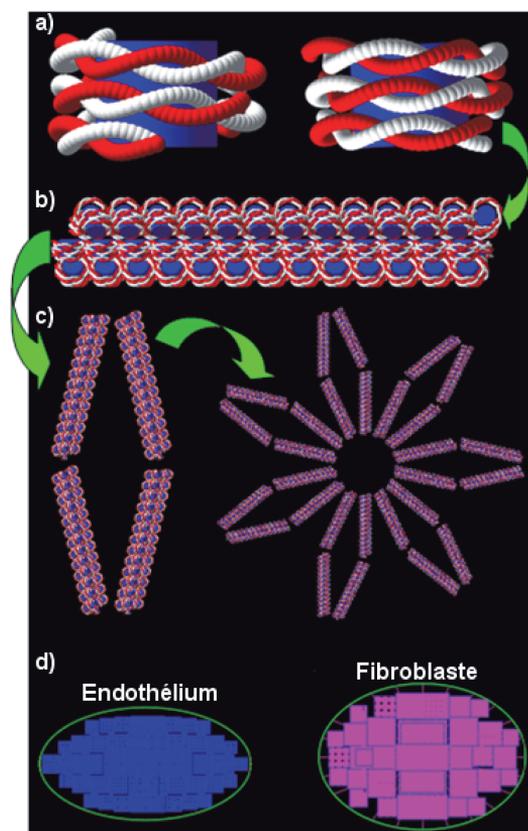


Figure : Différents éléments composant la géométrie : a) nucléosome, b) fibre de chromatine, c) boucle de chromatine et d) noyaux cellulaires.

d'ADN dans les résultats sur la topologie des dépôts pouvant donner lieu à des cassures de la molécule. Chaque noyau est divisé en 5 niveaux de compaction : ADN, nucléosome, fibre de chromatine, boucle de chromatine et territoires chromosomiques. Cette géométrie nous permet d'effectuer une première sélection des dépôts d'énergie pouvant contribuer aux cassures car situées sur la chaîne sucre-phosphate. Ainsi, ces dépôts sont ensuite analysés à l'aide d'un algorithme de clusterisation afin de les regrouper sous forme d'agrégats afin d'étudier leur localisation et complexité. Des simulations avec des irradiations proton ont permis de montrer que l'augmentation de la densité d'ADN augmente le nombre et la complexité des dommages. Ces résultats suggèrent que la densité d'ADN pourrait avoir une influence sur les processus de réparation cellulaire peut être visible dans les résultats des DSB détectés en forme de foci γ -H2AX.

Des modélisations avec des alphas ont également été réalisées afin d'évaluer l'influence du type d'irradiations. Ces résultats ont permis de montrer que, à TEL équivalent, les protons créent un plus grand nombre de DSB que les irradiations alpha.



Session parallèle

Confinement, aérosols

Salle Bretagne

Jeudi 4 octobre : 8h20 - 10h00

Président : Denis BOULAUD
IRSN

Vincent CESARD, Etude des mécanismes de transfert de nanoparticules au travers d'une barrière de confinement dynamique

Edouard BRUGIERE, Contribution à l'étude du comportement physique des agrégats de nanoparticules sous forme d'aérosols

Loïc COQUELIN, Contribution aux traitements des incertitudes : application à la métrologie des nanoparticules sous forme d'aérosols

Jonathan ALENGRY, Etude numérique et expérimentale des longueurs de bon mélange - Application à l'évaluation de la représentativité des points de prélèvement en conduit

Sujet de la thèse :

Etude des mécanismes de transfert de nanoparticules au travers d'une barrière de confinement dynamique.

Doctorant :	Vincent CESARD
Date du début de la thèse :	01/10/2009
Laboratoire :	PSN-RES/SCA/LECEV
Financement de thèse :	INRS
Directeur de thèse :	Anne TANIÈRE - Université de Nancy
Tuteur de thèse :	Corinen PREVOST
Ecole doctorale :	Nancy I - Energie, Mécanique, Matériaux - ED409

L'explosion de la production de nanomatériaux ces dernières années entraîne une exposition accrue des personnes et de l'environnement face à des nanoparticules dont la toxicité est peu ou pas connue. Pour pallier ce problème, il faut étendre nos connaissances en matière de nanotoxicologie. On sait aujourd'hui que les nanoparticules peuvent pénétrer par trois principales voies dans l'organisme à savoir la voie cutanée, la voie pulmonaire et la voie orale.

En parallèle, il est important de développer des méthodes adaptées à la caractérisation des expositions professionnelles, et c'est dans cette thématique que vient s'inscrire cette étude menée en collaboration avec l'INRS.

Les travaux de thèse ont permis de quantifier l'efficacité de confinement de deux dispositifs distincts (un poste de sécurité microbiologique et une sorbonne classique) lors de la production simultanée d'un nanoaérosol et d'un gaz traceur. Deux techniques de mesure différentes ont été exploitées : la première basée sur la mesure de la distribution granulométrique de l'aérosol s'échappant (SMPS-C), l'autre reposant sur la détection de fluorescence d'échantillons prélevés (fluorescéine sodée utilisée comme marqueur des nanoparticules). Les résultats ont permis d'établir une forte corrélation entre le comportement d'un nanoaérosol et celui d'un gaz traceur lorsqu'ils sont émis simultanément dans une enceinte ventilée. Plus encore, on a observé une rétrodiffusion gazeuse quasiment deux fois plus importante pour le gaz traceur que pour les nanoparticules testées dans différentes configurations. Le dépôt ainsi que l'agglomération présentes dans le cas du transport d'un nuage de nanoparticules peuvent expliquer ces écarts dans le niveau global de confinement obtenu. Cependant, ce constat n'est pas un gage de protection suffisante dans la mesure où il n'existe pas de valeur spécifique de référence lors de l'exposition à des nanoparticules. Il est alors utile de respecter les règles de bonne conduite qui ont été définies dans de nombreux guides INRS ou au travers de multiples études de l'IRSN.

En plus de ces études expérimentales, le banc d'essai développé à l'INRS a fait l'objet d'une simulation numérique permettant de valider un modèle eulérien de transport et de dépôt implémenté dans un code de CFD destiné à modéliser le comportement d'un nanoaérosol. Les résultats numériques/expérimentaux sont concordants ; les ordres de grandeur des niveaux de confinement atteints sont comparables.

Sujet de la thèse :

Contribution à l'étude du comportement physique des agrégats.

Doctorant :	Edouard BRUGIERE
Date du début de la thèse :	02/11/2010
Laboratoire :	PSN-RE/SCA/LPMA
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Alexis Coppalle - INSA Rouen
Tuteur de thèse :	François Gensdarmes
Ecole doctorale :	SPMI, INSA et université de Rouen

Dans le cadre d'une situation accidentelle dans une installation nucléaire, la maîtrise du risque incendie nécessite notamment de prédire sa propagation et d'évaluer ses conséquences sur le confinement des substances radioactives. Ce travail a pour objectif d'améliorer la connaissance du dépôt des particules de combustion par thermophorèse, mécanisme de dépôt important en situation d'incendie, afin de permettre une meilleure modélisation du comportement des aérosols issus d'un incendie.

Dans le but de montrer l'influence de la morphologie fractale d'un agrégat sur son comportement thermophorétique, un nouveau dispositif expérimental a été développé à l'IRSN, le SMTC pour SpectroMètre Thermophorétique Circulaire. Cet instrument permet de mesurer la vitesse moyenne de thermophorèse des particules dans une zone de sélection comprise entre une plaque chaude et une plaque froide. Pour cela, nous avons développé une fonction de transfert spécifique au principe de l'instrument sur la base des travaux existant sur les analyseurs différentiels de mobilité électrique. Après une phase de conception faisant appel à une modélisation du comportement thermo-aérodynamique du dispositif, nous avons réalisé un prototype de SMTC.

Le fonctionnement de l'instrument a été validé par une qualification expérimentale avec des billes de latex monodispersées. Les vitesses de thermophorèse obtenues montrent un très bon accord avec la théorie de Beresnev et Chernyak (1995), à savoir une décroissance de la vitesse de thermophorèse lorsque la taille des particules augmente dans le régime transitoire.

Par la suite, nous avons utilisé des agrégats parfaitement monodispersés produits par un générateur d'aérosol à combustion et sélectionnés par deux analyseurs différentiels de mobilité électrique disposés en série. Contrairement aux résultats obtenus avec les billes de latex, nos mesures montrent une augmentation de la vitesse de thermophorèse des agrégats avec leur diamètre de mobilité électrique (figure 1). Par exemple, pour un diamètre de mobilité électrique égal à 500 nm nous mesurons une vitesse de thermophorèse 65 % plus élevée pour les agrégats que pour les particules sphériques. L'étude morphologique des agrégats a permis d'exprimer l'augmentation de la vitesse de thermophorèse d'un agrégat en fonction du nombre de particules primaires le composant. Ces résultats expérimentaux confirment pour la première fois les données théoriques de Mackowski (2006) obtenues par des simulations Monte-Carlo.

.../...

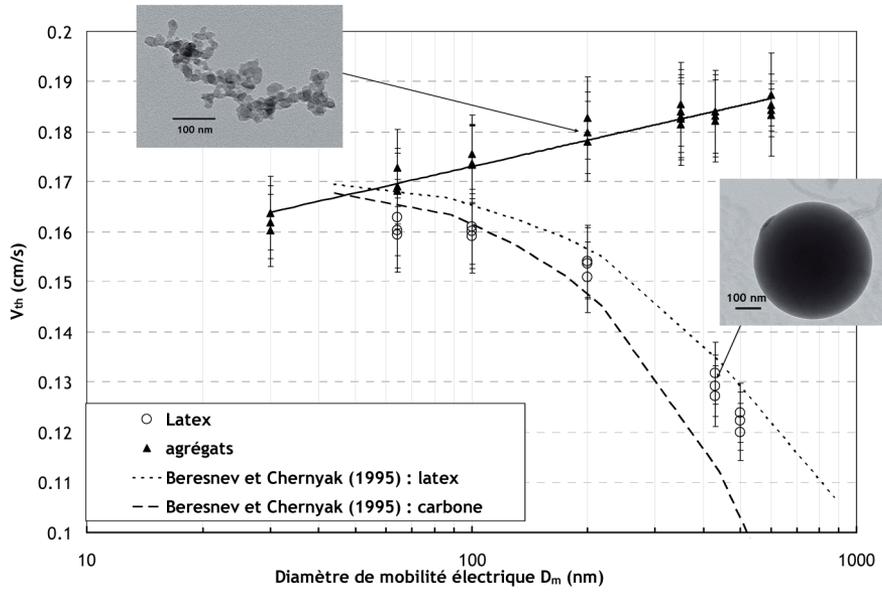


Figure 1 : Comparaison entre la vitesse de thermophorèse obtenue pour des particules sphériques (billes de latex) avec les résultats obtenus pour des agrégats de suies de combustion pour un gradient de température de 50 750 K/m.

Sujet de la thèse :

Contribution aux traitements des incertitudes : application à la métrologie des nanoparticules en phase aérosol.

Doctorant :

Loic COQUELIN

Date du début de la thèse :

01/06/2010

Laboratoire :

LNE Service Mathématiques et Statistiques /
PSN-RES/SCA/LPMA

Financement de thèse :

LNE / IRSN

Directeur de thèse :

Gilles Fleury - SUPELEC

Tuteur de thèse :

François Gensdarmes

Ecole doctorale :

Paris XI - STITS

L'instrument commercial le plus utilisé au niveau international pour mesurer la distribution granulométrique en nombre (DGN) des aérosols nanométriques est le SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer).

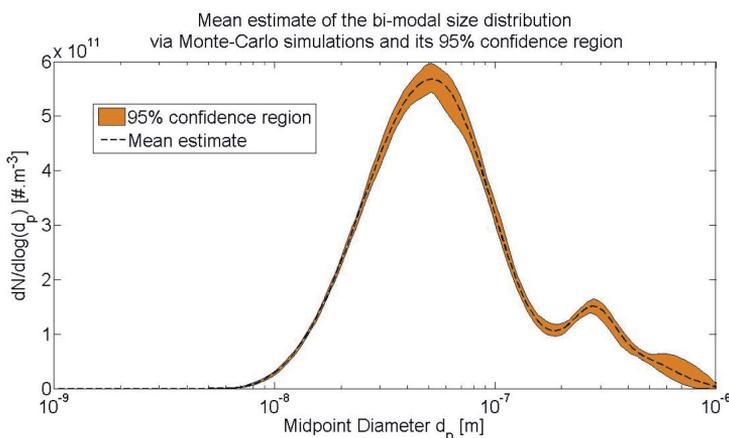
A ce jour, aucun laboratoire national de métrologie ne peut fournir une incertitude associée à la DGN, et ce, bien que le besoin industriel dans ce domaine soit manifeste (utilisation dans les lieux de travail, nanomatériaux, etc.).

Dans un premier temps, les travaux de thèse ont donné lieu à la modélisation du système de mesure. En effet, les logiciels fournis par les constructeurs de SMPS utilisent un modèle simplifié pour le traitement des données et applique ensuite des modules de correction. Le modèle proposé dans la thèse intègre entre autres la diffusion brownienne des particules ainsi que les phénomènes de charges multiples. Une inversion des données par régularisation permet une estimation robuste de la DGN avec un choix pour l'à-priori adapté aux distributions granulométriques unimodale ou bimodale.

La deuxième phase du travail a été la quantification des incertitudes associées à chacune des variables d'entrée du modèle et la hiérarchisation des variables influentes par une analyse de sensibilité. Les recherches au cours de cette étape ont révélé un certain nombre de points d'amélioration à mettre en place sur le modèle statistique. En effet, un étalonnage en dynamique de la variation de la tension dans le SMPS a été réalisé afin de valider la loi choisie dans le modèle physique et l'étude du bruit de comptage du détecteur du SMPS a mis en évidence la limitation du modèle existant aux faibles concentrations.

La dernière étape du travail consiste à propager les incertitudes sur les paramètres d'entrée du système selon un modèle statistique dont le développement est toujours à l'étude. Un premier modèle a toutefois permis de fournir une incertitude représentée par une région de confiance à 95 % sur une DGN bimodale (voir figure ci-dessous).

L'amélioration du modèle d'inversion statistique et la mise en œuvre de la propagation des incertitudes à travers ce modèle sont les objectifs à atteindre à la fin de la thèse.





Sujet de la thèse :

Etude numérique et expérimentale sur les longueurs de bon mélange.

Doctorant :	ALENGRY Jonathan
Date du début de la thèse :	03/11/2010
Laboratoire :	PSN-RES/SCA/LEMAC
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Olivier VAUQUELIN - Université Aix-Marseille
Tuteur de thèse :	Thomas GELAIN
Ecole doctorale :	Sciences pour l'ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectrique - Université de la Méditerranée

La surveillance des rejets gazeux des installations nucléaires dans l'environnement nécessite notamment la réalisation d'essais de traçage particulière visant à contrôler l'efficacité des filtres THE équipant le dernier niveau de filtration. Cependant, si la distance après le point d'injection du traceur dans l'effluent n'est pas suffisante, la concentration du traceur peut être hétérogène dans la section où se situe le point de prélèvement, pouvant ainsi conduire à une erreur sur la détermination de l'efficacité du filtre testé.

Très peu de données existent dans la littérature sur cette problématique, y compris dans des normes. En particulier, la norme française NFX 10-141 propose des lois de longueur de bon mélange dans lesquelles certains paramètres ne sont pas clairement explicites, et sans préciser de références. C'est pourquoi, un premier travail a été de développer un modèle d'évolution de la concentration d'un traceur dans un conduit cylindrique, à partir d'une résolution analytique de l'équation de convection-diffusion d'un scalaire passif injecté en un point source, en considérant en première approche des profils uniformes de vitesse et de viscosité turbulente. Une comparaison avec des données expérimentales (Quarmby et Anand, 1969) a montré que ce modèle a tendance à sous-estimer l'homogénéisation du traceur, en raison des hypothèses émises.

Ce modèle est confronté avec les résultats expérimentaux obtenus avec le banc d'essais BOREAL (Banc Optique pour la Réalisation d'Etudes Appliquées aux Longueurs de bon mélange) qui a été mis en œuvre. Par la suite, une étude expérimentale dans des conditions plus représentatives des réseaux de ventilation sera conduite afin de contribuer à la validation du code de calcul ANSYS CFX, dans l'optique d'élaborer des modèles semi-empiriques.

En effet, ce banc permet de mesurer, par le biais d'un diagnostic Laser, l'évolution de la distribution en concentration d'un traceur gazeuxensemencé par des particules dans un conduit. BOREAL est dimensionné, sur la base de pré-calculs numériques, pour évaluer l'influence de certaines configurations de conduit, un conduit de section cylindrique et un autre de section rectangulaire ont été créés, et de certains paramètres physiques comme le ratio entre le débit d'injection du traceur et le débit d'écoulement.

Les premiers résultats numériques comparés aux résultats expérimentaux seront présentés.



Séminaire de la Recherche Exploratoire

Amphithéâtre Queen Mary 2

Jeudi 4 octobre : 11h10 - 12h50
Directeur scientifique

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

Le dispositif de recherche exploratoire mis en place par le Directeur Scientifique offre la possibilité aux chercheurs de l'institut de démontrer la faisabilité d'une idée originale portant sur des sujets non encore abordés dans les programmes en cours. Il permet sa mise en œuvre en dehors du champ habituel de la recherche programmée. Cette recherche « dite » exploratoire dispose alors des ressources et d'un temps suffisant pour être portée à maturité et devenir féconde tout en étant protégée des conséquences habituelles d'un éventuel échec.

Tous les domaines d'activités relevant des missions de recherche de l'institut sont éligibles à la recherche exploratoire, dès lors que les projets correspondants explorent de nouvelles voies de recherche, de nouvelles techniques et de nouvelles méthodes, et qu'ils permettent d'entrevoir un changement significatif par rapport aux pistes actuellement empruntées au sein de l'institut.

Depuis fin 2011, un appel permanent à propositions de projets de recherche exploratoire a été lancé par le Directeur Scientifique. Les projets réceptionnés sont évalués par la Commission Permanente d'Evaluation de la Recherche Exploratoire sur la base de critères spécifiques comme la créativité, la prise de risque, etc. Les projets sont présentés auprès de cette commission par les porteurs de projets. Cette commission se réunit 2 à 3 fois par an selon le nombre de projets reçus permettant ainsi un retour plus rapide auprès des porteurs de projets.

Les projets retenus par le Directeur Scientifique à l'issue de la phase de sélection, sont soumis à l'arbitrage du Directeur Général pour décision d'engagement. Les projets peuvent démarrer dès que cette décision d'engagement est parvenue au porteur du projet.

Une fois par an, le Directeur Scientifique organise un séminaire de la Recherche Exploratoire au cours duquel les projets en cours ou récemment achevés feront l'objet d'une présentation ouverte à tous les acteurs de la recherche.

Cette année, ce 1er séminaire de la Recherche Exploratoire est adossé aux Journées des thèses organisées par le Directeur de la Stratégie, du Développement et des Partenariats au Croisic du 2 au 5 octobre 2012. Il présente le Jeudi 4 octobre 2012 (Voir programme ci-dessous), une sélection des meilleurs projets parmi tous les projets achevés depuis l'origine.

A cette occasion, un Prix IRSN 2012 de la Créativité est décerné sur la base d'une évaluation par un panel d'experts de la Filière. Il sera remis au vainqueur le soir même lors du Dîner Festif des Journées des Thèses.

Jeudi 4 octobre 2012 - 11h10-11h30
Sabine CHARMASSON, PRP-ENV/SESURE/LERCM
Radioactivité chez les organismes de sites hydrothermaux sous-marins.

L'objectif premier de ce projet de recherche exploratoire était de confirmer (ou infirmer) l'hypothèse d'une radioactivité élevée dans la faune des écosystèmes hydrothermaux sous-marins.

La détermination des teneurs en ^{210}Po -Pb et des 'têtes' de série des familles uranium-thorium i.e. ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U et ^{232}Th , ^{230}Th , ont confirmé cette hypothèse.

L'organisme étudié de manière plus systématique a été une bathymodiole endémique de la zone des Açores *Bathymodiolus azoricus* inféodée aux zones tièdes. Cependant nous avons pu également analyser quelques échantillons de crustacés.

Ces premiers résultats apportent des informations tout à fait intéressantes. Les quelques échantillons d'eau que nous avons analysés confirment que les fluides ne sont pas enrichis en uranium. En effet, l'eau de mer s'infiltrant dans le sous-sol perd certains éléments comme le manganèse, molybdène et l'uranium lors de son trajet suite à des phénomènes de précipitation liés aux variations du pH et aux phénomènes de séparation de phase lors de l'accroissement de température. Par contre les teneurs en uranium chez les Bathymodioles révèlent très nettement une influence des processus hydrothermaux. Il existe actuellement une contradiction entre les valeurs trouvées dans l'eau et dans les particules avec les enrichissements dans la faune et dans les sédiments de ces environnements. Il est possible que ce 'chaineon manquant' trouve son origine dans l'abondante faune bactérienne qui peuple ces environnements. Celle-ci pourrait constituer une interface jouant un rôle prépondérant dans les cycles biogéochimiques de certains éléments.

Jeudi 4 octobre 2012 - 11h30-11h50
Eric BLANCHARDON, PRP-HOM/SDI/LEDI et Eric CHOJNACKI, PSN-RES/SEMIA/LIMAR
Evaluation de l'incertitude dans la détermination des doses à partir des mesures de surveillance de la contamination interne des travailleurs.

L'objectif principal de ce projet est le développement de méthodes simples pour l'incorporation de l'incertitude dans la détermination des doses à partir des mesures de surveillance de la contamination interne des travailleurs. La méthodologie générale est la suivante :

- Développement de méthodes d'inférence de l'incorporation et de la dose à partir de mesures d'activité
- Prise en compte de l'incertitude sur la date d'incorporation, l'erreur de mesure, la forme physico-chimique du radionucléide
- Développement de techniques d'agrégation de l'information concernant des intervalles de surveillance successifs

Elle s'est avérée pertinente et sa faisabilité démontrée. Le seul problème important rencontré si situe dans les cas où le modèle biocinétique est incertain et que plusieurs données de mesure sont disponibles.

Jeudi 4 octobre 2012 - 11h50-12h10

Roland DUBOURG, PSN-RES/SAG/LETR et Roland DUCHER, PSN-RES/SAG/LETR
Comportement des PF dans les combustibles carbures.

L'objectif principal de ce projet de recherche exploratoire a été l'étude des mécanismes qui déterminent le comportement des produits de fission (PF) dans les combustibles. Néanmoins, l'évolution de la microstructure de la matrice combustible est aussi largement associée à ce comportement des PF et a fait l'objet d'investigations importantes. Les méthodes et les outils de calculs fondamentaux développés au cours de l'étude permettent en effet d'aborder ces deux domaines. L'ensemble conditionne une grande partie du comportement thermomécanique du combustible

Du point de vue de l'évaluation de la sûreté des réacteurs rapides à sodium, dans le cas où ceux-ci utiliseraient des combustibles carbures, l'étude a permis d'obtenir des données de base qui sont indispensables au développement (ultérieur) de modèles mésoscopiques mais qui peuvent d'ores et déjà fournir des informations semi-quantitatives permettant :

- d'évaluer les tendances en matière de relâchement des PF en cas d'accident (notamment, un accident qui conduirait à la fusion du combustible)
- d'évaluer le comportement thermomécanique du combustible soumis à différents types de sollicitations

Jeudi 4 octobre 2012 - 12h10-12h30

Grégory NICAISE, PSN-RES/SAG/BPhAG

Fragilisation de la cuve d'un réacteur par les métaux liquides.

Les études relatives à la compatibilité des métaux liquides avec les aciers sont un sujet important pour la sûreté des réacteurs nucléaires :

- pour les réacteurs de génération II et III, si un accident de fusion du cœur survient, la cuve en acier du réacteur peut à terme être au contact de métaux en fusion (phase métallique du corium);
- pour plusieurs filières des réacteurs de génération IV, l'utilisation de métaux liquides comme fluide caloporteur est envisagée ; dans ces réacteurs les composants en acier du circuit primaire seraient au contact des métaux liquides.

Un des mécanismes invoqué est un mécanisme de fragilisation pure (perte de plasticité de l'acier) résultant du mouillage de l'acier par le métal liquide qui entraînerait une diminution de l'énergie de surface et pouvant conduire rapidement à une rupture trans-granulaire. L'objet principal de ce projet de recherche exploratoire est d'apporter des éléments de compréhension concernant ce mécanisme.

Il a été atteint puisqu'une étude de calculs aux éléments finis a montré qu'un risque de fragilisation de l'acier des cuves REP par une phase métallique liquide pouvait intervenir en cas d'accident de fusion du cœur. En effet, une étude détaillée du mécanisme de clivage initié par un simple contact du métal liquide a été effectuée par le biais de calculs de mécanique de la rupture.

Jeudi 4 octobre 2012 - 12h30-12h50
Sophie JACOB, PRP-HOM/SRBE/LEPID
Cataractes radio-induites chez les cardiologues.

Les cataractes sont la première cause de cécité dans le monde. Elles sont majoritairement observées chez la personne âgée dans les pays développés. Il y a différents types de cataracte :

- Corticale
- Nucléaire
- Sous capsulaire postérieure (SCP)

Les causes sont multiples :

- Age +++
- Caractère héréditaire (cataracte congénitale)
- Exposition aux UV, consommation de tabac, d'alcool, diabète, corticothérapie prolongée, rayonnements ionisants (fortes doses)

La cataracte radio-induite est de type sous-capsulaire postérieure (0,5 à 2 Gy en une seule exposition ou 5Gy pour une exposition fractionnée ou prolongée. Il y a une remise en question de ce seuil sur la base des populations exposées. L'étude O'CLOC s'intéresse à l'exposition des cardiologues interventionnels

De cette étude, il ressort qu'il y a un risque significatif d'opacités cristalliniennes au niveau sous capsulaire postérieur dans la population des cardiologues interventionnels français par rapport à des travailleurs non exposés ; que ce risque augmente avec la durée d'activité et que le port régulier de lunettes plombées limite ce risque (quantification épidémiologique).



Session parallèle

Géosphère

Salle Bretagne

Jeudi 4 octobre : 17h20 - 19h50

Président : Helmut PITSCHE
IRSN

Anaïs MAILLET, Étude géochimique des transformations subies par l'argilite de Tournemire au contact du Fer métal, en contexte in-situ, après une interaction de 10 ans. Approche expérimentale couplée à la modélisation géochimique

David BAILLY, Analyse et modélisation des chroniques hydrométéorologiques, d'écartement des fissures en paroi, et de teneur en eau volumique en champ proche des galeries 1996 et 2003 à la station expérimentale IRSN de Tournemire

Simona SABA, Comportement hydromécanique différé des barrières ouvragées argileuses gonflantes

Camille CHAUTARD, Bioréactivité fer-argile en condition de stockage

Céline ROUX, Etude des mécanismes de transfert des radionucléides dans la nappe phréatique en aval de la fosse T22 du site expérimental de l'IRSN à Tchernobyl

Aurélien BOISELET, Cycle sismique et aléa sismique d'un réseau de failles actives : le cas du rift de Corinthe-Patras (Grèce)

Sujet de la thèse :

Etude physico-chimique des interactions fer métal - argilite de Tournemire après 10 ans de contact.

Doctorant :	Anais MAILLET
Date du début de la thèse :	01/10/2009
Laboratoire :	PRP-DGE/SRTG/LETIS
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Philippe VIEILLARD - Université de Poitiers
Tuteur de thèse :	Alexandre DAUZERES
Ecole doctorale :	Université de Poitiers - ED Gay Lussac

Dans le cadre du concept de stockage de déchets radioactifs à vie longue en couche géologique profonde, l'IRSN mène depuis 1999 une étude in situ à la Station Expérimentale de Tournemire sur les interactions acier/argilite. L'objectif est de caractériser les transformations de l'argilite de Tournemire au contact d'aciers après 10 ans d'interaction. Ces résultats sont ensuite reproduits à l'aide d'outils de simulations couplant chimie et transport afin de mettre en évidence les phénomènes ayant eu lieu dans le système.

Après 10 ans d'interactions, un forage vertical constitué d'argilite naturelle du massif (CR8) et un forage horizontal constitué d'argilite recompressée (CR6) ont été sur-carottés afin d'analyser les interfaces. Des analyses minéralogiques (DRX, spectroscopie Raman, MEB-EDS, CEC et ATD/ATG), structurales (μ tomographie RX, autoradiographie et imagerie MEB) et pétro-physiques (B.E.T., imprégnation au kerdane et pycnométrie hélium) post-mortem ont été conduites sur les échantillons.

Les composites argilite/acier carbone montrent une corrosion homogène du disque d'acier sur une profondeur maximale de 250 μ m. Le fer libéré se propage dans l'argilite principalement sous forme d'auréoles pouvant atteindre 5 mm d'extension et selon les fissures de la roche, ce qui entraîne des modifications minéralogiques et structurales (Figure/b). L'argilite initialement recompressée du forage horizontal CR6 présente une porosité plus élevée et hétérogène que l'argilite naturelle (Figure/c). Des oxydes de fer (goéthite, hématite et magnétite) ont été identifiés ainsi qu'une dissolution de calcite dans le panache de fer libéré et une évolution des interstratifiés Illite/Smectite vers l'illite. Une succession de zones distinctes métal /métal corrodé /argilite perturbée /argilite saine a été mise en évidence (Figure/e). Les interfaces entre deux zones sont marquées par des différences :

- de la chimie avec un enrichissement de l'argilite perturbée par le fer libéré lors de la corrosion de l'acier, ou un enrichissement de l'acier corrodé en soufre par précipitation de rouilles vertes sulfatées (Figure/d),
- de la porosité avec un colmatage résultant de la précipitation des produits de corrosion dans l'argilite perturbée.

Les échantillons argilite/acier inoxydable présentent une très faible corrosion par piqûration de l'acier. La minéralogie de l'argilite ne semble pas perturbée au contact.

.../...

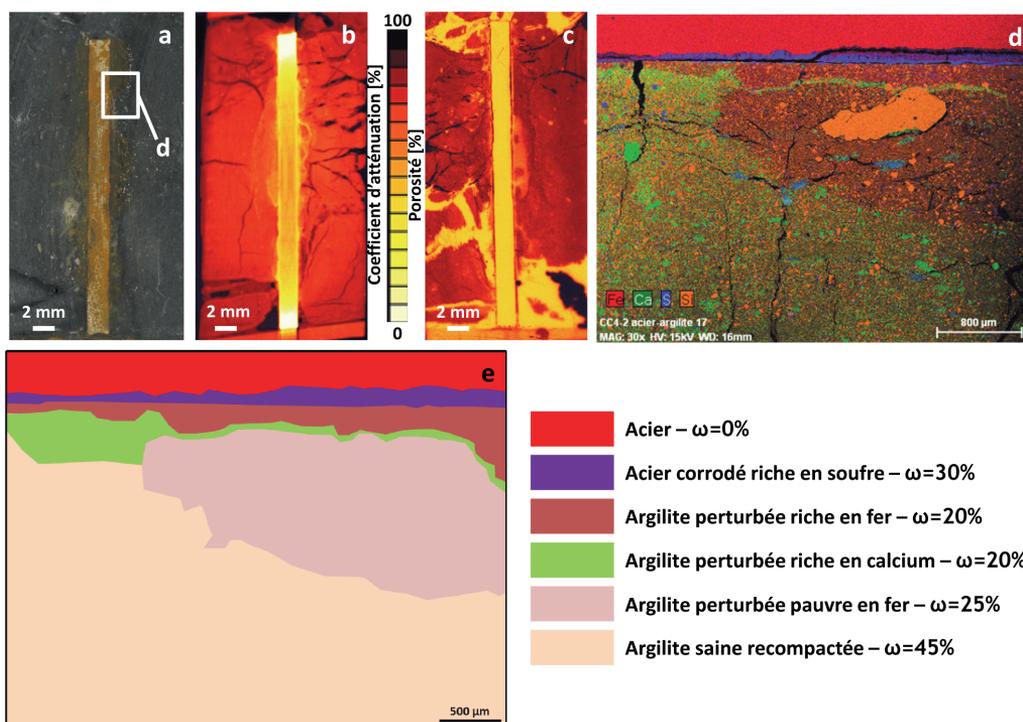


Figure : récapitulatif des résultats obtenus sur un contact acier carbone/argilite de Tournemire après 10 ans (a) photographie d'un échantillon ; (b) section en microtomographie RX basse résolution de l'échantillon (gradient de coefficient d'atténuation) ; (c) section en autoradiographie de l'échantillon (gradient de porosité) ; (d) cartographie MEB-EDS du fer, calcium, soufre et silicium sur une partie de l'échantillon ; (e) schéma de la zonation et de la porosité moyenne de chaque zone



Sujet de la recherche :

Analyse et modélisation des chroniques hydrométéorologiques, d'écartement de fissure en paroi, et de teneur en eau volumique en champ proche des galeries 1996 et 2003 à la Station Expérimentales IRSN de Tournemire.

Post-doctorant :

BAILLY David

Date du début de la thèse :

Juin 2012

Laboratoire :

PRP-DGE/SRTG/LETIS

Tuteurs du post-doctorat :

Jean-Michel Matray & Rachid Ababou (IMFT)

Les roches argileuses profondes sont étudiées dans différents pays comme formations géologiques susceptibles d'accueillir un stockage de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA-MAVL). En France, les argilites du Callovo-Oxfordien de l'Est du Bassin Parisien (site de Meuse/Haute-Marne) sont étudiées par l'Andra (Agence nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs) car elles possèdent des propriétés de rétention des radionucléides et ont une faible perméabilité intrinsèque.

Cependant l'existence et/ou l'apparition de discontinuités susceptibles de modifier leurs propriétés de confinement vis-à-vis des radionucléides ne peuvent pas être exclues. Dans les faits, des fissures de retrait parallèles à la stratification de la roche sont systématiquement observées en paroi des galeries creusées dans les laboratoires souterrains de formations argileuses compactées. Ces discontinuités constituent une Zone d'Endommagement liée à l'excavation de l'ouvrage (« Excavation Damaged Zone » ou EDZ).

Les analyses statistiques, action « DEF » du projet 2010-2A du GNR TRASSE (analyses corrélatoires, spectrales, en ondelettes uni-variées et multi-variées), des chroniques hydrométéorologiques et d'écartement des fissures obtenues à la SET montrent l'existence d'un couplage entre les variations des conditions atmosphériques dans les galeries, la réponse des fissures de retrait et la teneur en eau volumique mesurée dans l'EDZ*. Cette variation est liée au cycle naturel car la SET soumise aux cycles journaliers et saisonniers atmosphérique mais aussi à l'activité anthropique, c'est à dire à l'exploitation de l'ouvrage (cycles liés aux jours de travail hebdomadaire et aux jours de repos).

Cette étude a permis surtout le développement d'outils statistiques de prétraitement et traitement applicables à toute chronique ou groupe de chroniques. Ces traitements permettent en particulier d'établir des relations de causalité entre les paramètres mais aussi de préciser les délais de réponse comme par exemple entre une variation d'humidité et l'ouverture des fissures de retrait. Ces analyses statistiques ont aussi permis l'estimation de certaines propriétés hydrauliques de l'argilite à partir de chroniques de pression de pore mesurées dans la roche argileuse de la SET et présentent donc un grand intérêt dans la valorisation de l'ensemble des données qui y sont acquises.

* Ces analyses ont été réalisées lors de la première partie du post-doctorat de David Bailly, intitulé : « Analyse des chroniques hydrométéorologique, d'écartement des fissures en paroi, et de teneur en eau volumique en champs proche des galeries 1996 et 2003 à la Station expérimentale de Tournemire »



Sujet de la thèse :

Comportement hydromécanique différé des barrières ouvragées argileuses gonflantes

Doctorant :	SABA Simona
Date du début de la thèse :	04/10/2010
Laboratoire :	DGE/SRTG/LETIS
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Yu-jun CUI /Ecole des Ponts
Tuteur de thèse :	Jean-Dominique BARNICHON
Ecole doctorale :	Université Paris-Est/SIE (Science, Ingénierie et Environnement)

Le sujet de thèse concerne l'étude du comportement hydromécanique des barrières ouvragées utilisés comme éléments de scellement dans le concept de stockage géologique des déchets radioactifs. Ces barrières ouvragées sont des noyaux argileux formés par la succession de disques compactés d'un mélange de bentonite (70%) et de sable (30%). Lors de leur emplacement en galeries de stockage, ces disques commencent à se saturer par l'eau de la roche naturelle. En se saturant, le mélange gonfle et ferme ainsi les vides du système (spécialement les vides technologiques qui existent entre le noyau et la roche et entre les disques eux mêmes constituant le noyau). En gonflant pour fermer le vide, la bentonite forme un gel très lâche en comparaison au noyau dense compacté. Ceci se traduit par la présence d'un gradient de densité radial entre le noyau et la roche. L'effet de ce gradient de densité sera étudié sur le comportement mécanique de ce matériau en condition de gonflement empêché, générant ainsi des pressions de gonflement axiale et radiale qui peuvent être différentes (comportement anisotrope). Un gradient de densité se développera aussi lors de la rupture progressive des ouvrages de support.

Des essais de reprise de gonflement seront effectués sur un modèle réduit des essais in-situ SEALEX effectués par l'IRSN dans son laboratoire souterrain de Tournemire. Jusqu'à présent, une étude bibliographique et des essais d'identification du matériau ont été réalisés afin de bien comprendre le contexte général ainsi que le comportement du matériau vis-à-vis des problématiques envisagées. Des essais de quantification du gonflement et de sa cinétique ont été réalisés à l'aide d'analyse d'images prises par appareil photo. En parallèle, des essais mécaniques pour l'étudier l'anisotropie du gonflement sont en cours, les premiers résultats montrant une anisotropie marquée des pressions de gonflement. Une observation au microtomographe de la microstructure du matériau compacté a été réalisée (Voir Figure 1), permettant de bien distinguer les différentes phases : sable, bentonite et pores. L'analyse d'image montre une concentration de pores sur la périphérie qui, par conséquent, indique que la perméabilité n'est pas la même dans tout l'échantillon. Des observations supplémentaires seront faites à l'état hydraté.

.../...

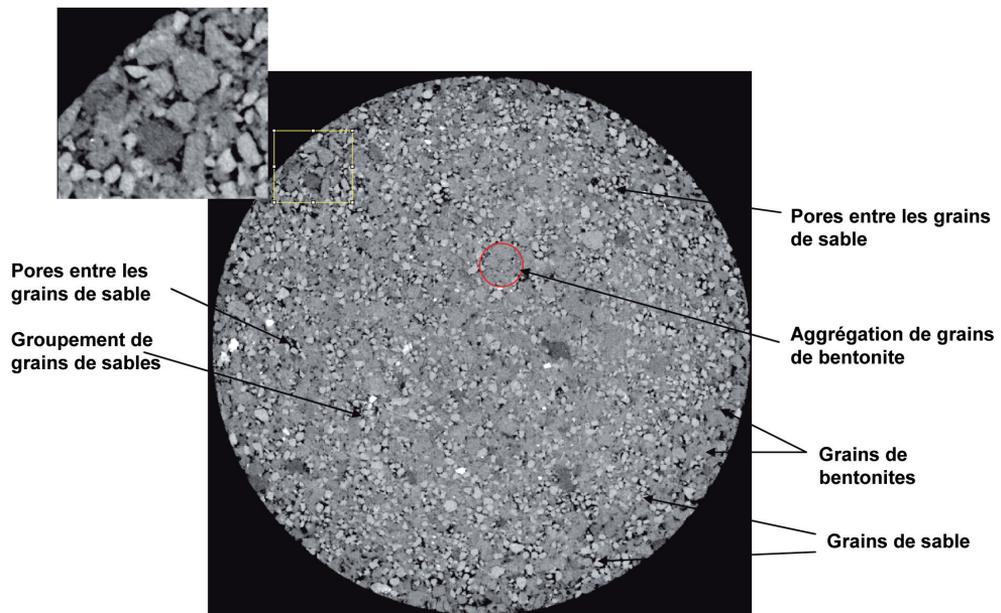


Figure 1 Une coupe horizontale de l'image 3D obtenue par microtomographie d'un échantillon de diamètre de 50 mm et de masse volumique sèche initiale de 1.8 Mg/m³.

Sujet de la thèse :

Bioréactivité fer/argile en conditions de stockage profond :
approche expérimentale et modélisation.

Doctorant :

Camille CHAUTARD

Date du début de la thèse :

22/10/2010

Laboratoire :

PRP-DGE/SEDRA/BERIS

Financement de thèse :

CEA Cadarache

Directeur de thèse :

Laurent De Windt - Ecole des Mines de Paris

Tuteur de thèse :

François MARSAL

Ecole doctorale :

Université Paris VI

Le concept d'alvéole de stockage de déchets de haute activité et à vie longue en formation géologique argileuse met en jeu des matériaux métalliques (chemisage de l'alvéole, insert et surconteneurs) et des matériaux argileux (roche hôte, scellement en argile gonflante). Leur interaction peut entraîner la corrosion des aciers et le relâchement de fer dans l'eau porale, avec comme conséquence potentielle d'une part une perte d'étanchéité des surconteneurs et d'autre part une modification locale des propriétés de confinement des matériaux argileux. Cette réactivité pourrait être favorisée par la présence de microorganismes, dont la capacité de se développer en milieu argileux profond a récemment été démontrée. Par ailleurs, l'influence d'hétérogénéités (fractures, fissures au sein des matériaux, interfaces imparfaites) sur les interactions entre matériaux métalliques et argileux reste à ce jour mal connue.

L'objectif de la présente thèse est de déterminer l'influence d'hétérogénéités et d'activités microbiennes sur la réactivité fer-argile, notamment en termes d'évolution de propriétés chimiques et hydrauliques de l'argile. Afin de répondre à cet objectif, deux expériences intégrées (cellules de percolation, figure 1) sont mises en œuvre, la première, en présence de deux souches sélectionnées (une bactérie sulfato-réductrice et une ferri-réductrice), la seconde constituant un témoin abiotique. De l'eau synthétique représentative de l'eau porale de l'argilite de la station expérimentale de l'IRSN à Tournemire, sous pression à 60°C, circule au travers d'un lit de poudre de fer (simulant les aciers) puis au travers d'une carotte artificiellement fissurée d'argilite de Tournemire, dont les caractéristiques géochimiques sont proches de celles des argilites du Callovo-Oxfordien étudiées par l'ANDRA.



Figure 1 : cellule de percolation

La survie bactérienne au cours de l'expérimentation a été confirmée par prélèvement à l'interface fer/argilite et par comptage. Le suivi de la chimie des percolats en sortie a permis de révéler une réactivité fer-argile différente en présence ou non de bactéries. Après un an de suivi, les expérimentations ont été stoppées et des caractérisations structurales (microtomographie et autoradiographie) et minéralogiques (MEB, μ DRX, Raman) sont en cours. L'ensemble des résultats expérimentaux sera ensuite modélisé à l'aide du code couplé chimie/transport HYTEC, également utilisé pour le dimensionnement des expériences, afin de comprendre l'ensemble des processus réactionnels mis en jeu.



Sujet de la thèse :

Etude des mécanismes de transfert des radionucléides dans la nappe phréatique en aval de la fosse T22 du site expérimental de l'IRSN à Tchernobyl.

Docteurant : Céline ROUX
Date du début de la thèse : 01/10/2009
Laboratoire : PRP-DGE/SRTG/LETIS
Financement de thèse : cofinancement CNRS/IRSN
Directeur de thèse : Joël LANCELOT, Corinne LE GAL LA SALLE - Université de Nîmes
Tuteur de thèse : Caroline SIMONUCCI
Ecole doctorale : Université Aix-Marseille 3 Ecole doctorale des Sciences de l'Environnement

Après l'explosion du réacteur 4 de la centrale de Tchernobyl en avril 1986, dans la zone d'exclusion, environ 800 tranchées ont été creusées pour enfouir débris, matière organique et sols contenant la matière radioactive dans le but de réduire l'exposition aux radiations et empêcher une resuspension atmosphérique des radionucléides.

Depuis 1999, un site expérimental, le Site Pilote de Tchernobyl, a été installé sur la tranchée T22 pour étudier la migration des radionucléides depuis la tranchée vers le sous-sol.

La migration de radionucléides a été mise en évidence à travers l'identification d'un panache de ^{90}Sr dans la nappe en aval de la tranchée [1]. La problématique de la thèse s'inscrit dans l'identification des processus responsables de cette migration. Pour cela, plusieurs traceurs isotopiques sont étudiés pour caractériser les processus liés au transport non-réactif et ceux liés au transport réactif des éléments.

L'extension maximale du panache est étudiée au travers du comportement d'un traceur conservatif, i.e. peu réactif : le ^{36}Cl . De forts rapports isotopiques $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ sont mesurés dans la nappe, entre 100 et 10000 fois supérieurs au rapport naturel théorique. La comparaison des valeurs avec les dates de recharge mesurées par Le Gal La Salle et al. (2012) [2] nous amène à considérer cette contamination en ^{36}Cl comme postérieure à l'explosion de Tchernobyl. La présence de la tranchée semble aussi avoir un impact puisque les rapports $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ mesurés en aval de celle-ci sont 10 fois supérieurs aux rapports $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ mesurés en amont. Des processus de mélanges entre un pôle très contaminé en ^{36}Cl et l'eau de pluie naturelle théorique semblent être impliqués. Un modèle de transport non-réactif, conçu avec le code Hytec [3] est proposé.

Les rapports isotopiques de l'Uranium et du Strontium sont étudiés de manière à caractériser le transport réactif. L'analyse des rapports isotopiques de l'Uranium $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ doit permettre d'identifier une éventuelle migration de l'Uranium issu de la dissolution des particules de combustibles enfouies. L'analyse des rapports isotopiques du Sr $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ doit permettre de mieux caractériser les processus gouvernant la migration du ^{90}Sr , et plus particulièrement les processus d'échanges cationiques.

[1] Dewiere (2004) *Journal of Environmental Radioactivity* 74, 139-150.

[2] Le Gal La Salle (2012) *Applied Geochemistry* 27, 1304-1319.

[3] Van der Lee (2003) *Computers and Geosciences* 29, 265-275.



Sujet de la thèse :

Cycle sismique et aléa sismique d'un rift actif : le cas du rift de Corinthe.

Docteurant : BOISELET Aurélien
Date du début de la thèse : 01/10/2010
Laboratoire : PRP-DGE/SCAN/BERSSIN
Financement de thèse : ANR SISCOR/IRSN
Directeur de thèse : Hélène LYON-CAEN (ENS Paris)
Tuteur de thèse : Oona SCOTTI
Ecole doctorale : IPGP/Ecole doctorale des sciences de la Terre

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet IRSN R1.4.4.1 (Etude et recherche sur le risque lié aux agressions naturelles - aléa sismique). La thèse, co-financé par l'ANR et l'IRSN, s'insère dans le projet Corinth Rift Laboratory (CRL, <http://crlab.eu>) qui vise à observer et modéliser les processus de déformation tectonique du rift de Corinthe, Grèce, dans sa partie ouest (Aigion-Patras). Le rift de Corinthe est l'une des zones sismique les plus actives d'Europe. Les réseaux sismologiques et géodésiques denses du CRL (installées depuis plusieurs années) et les études de terrain en tectonique et en géophysique ont conduit à identifier de nombreuses failles actives. A ce titre, le CRL est un laboratoire naturel idéal pour tester les différentes méthodes utilisées dans la définition de l'aléa sismique et apporter des éléments de réponse à de nombreuses questions qui concernent par exemple le degré de connaissance nécessaire pour caractériser un réseau de failles actives où la part de déformation qui est accommodée par des mouvements asismiques.

L'objectif de la thèse est de développer, en collaboration avec le groupe CRL, un modèle de probabilité d'occurrence de séismes basé sur la caractérisation des failles et d'y identifier les paramètres clefs. Afin d'y parvenir, pour chacune des failles (scénario simple) ou système de faille (scénario multiple) les vitesses de glissement proposées par les différents experts sont considérées, les magnitudes maximales qu'elles peuvent produire sont estimées et des modèles de probabilité d'occurrence des séismes sont postulés. Afin de tenir compte des incertitudes que chacune de ces étapes impliquent, une approche de type « arbre logique » est proposée. Par cette approche il est possible de quantifier l'impact du choix des paramètres d'entrés sur la probabilité d'occurrence des séismes (Figure 1). Une première comparaison de ces évaluations à celles obtenues à partir du catalogue de sismicité, des études de paléosismicités ou encore de la géodésie indique que, au-delà d'une meilleure connaissance sur les vitesses de glissement des failles, (i) d'autres failles doivent encore être caractérisées afin de reproduire le taux de sismicité observé et (ii) un effort doit être fait sur la détermination de la part de déformation asismique pouvant exister dans le golfe.

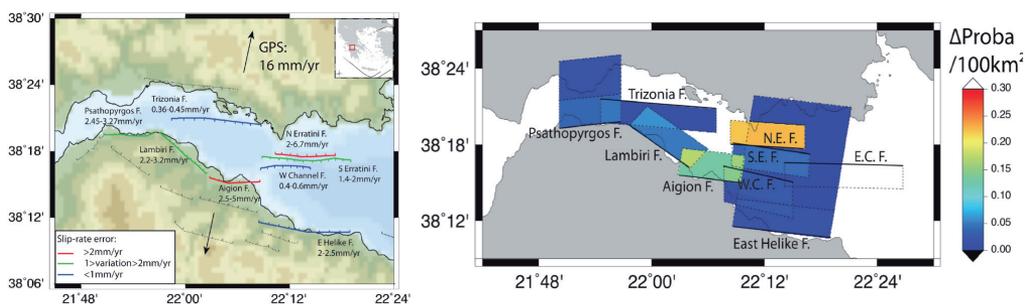


Figure 1 : (Gauche) Incertitude dans l'estimations des vitesses de glissement pour chaque failles modélisées et (droite) impact sur l'estimation des probabilités d'occurrence de séismes de magnitude $M \geq 5,5$ pour les 30 prochaines années (probabilités normalisées et projetées à la surface). Les failles d'Aigion et Nord-Erratini sont les failles présentant les incertitudes les plus importantes (structures en rouge), entraînant une variation majeure des probabilités normalisés (entre 15 et 25%/100 km²).



Session parallèle

Accidents graves / Incendie/ Criticité

Amphithéâtre Queen Mary 2

Jeudi 4 octobre : 17h20 - 19h50

Président : Sophie SOBANSKA
Chargé de recherche CNRS
Laboratoire de Spectrochimie Infrarouge et Raman
Université de Lille1

Mélany GOUELLO, Étude de la composition, de la spéciation et de la structure des aérosols multi-composants susceptibles de se former dans le circuit primaire d'un réacteur nucléaire en cas d'accident grave

Adrien CARTONNET, Modélisation des rejets à l'environnement en cas de RTGV

Paul SAPIN, Étude de l'ébullition en masse sur milieu poreux modèle

Marina LASSERRE, Modélisation des phénomènes d'oxydation sous air des gaines de crayons combustibles des centrales nucléaires en cas d'accident de dénoyage de piscine de stockage ou lors d'un accidentel grave

Tan-Trung NGUYEN, Méthodes de correction de pression pour les écoulements diphasiques en milieux poreux

Clément CHEVALIER, Intégration des plans d'expériences numériques hybrides d'optimisation-inversion en expertise de sûreté-criticité

Sujet de la thèse :

Chimie de l'iode et composition des aérosols dans le circuit primaire d'un réacteur nucléaire en condition accidentelle.

Doctorant :	Mélany GOUËLLO
Date du début de la thèse :	03/11/2008
Laboratoire :	PSN-RES/SEREX/L2EC
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Elisabeth Blanquet - Grenoble INP
Tuteur de thèse :	Hervé Mutelle
Ecole doctorale :	Institut National Polytechnique de Grenoble - IMEP2

Lors d'un accident grave de réacteur nucléaire (fusion du cœur), l'iode radioactif peut être rejeté dans l'environnement. L'évaluation de cette quantité et l'état physique de l'iode (gazeux ou sous forme d'aérosol) revêt une grande importance du fait de la radiotoxicité de cet élément. Le relâchement de l'iode depuis le cœur du réacteur et son transport dans les différentes parties du réacteur jusqu'à l'enceinte de confinement a beaucoup été étudié, particulièrement lors des essais à grande échelle Phébus-FP. Les résultats des essais Phébus-FP ont montré qu'une fraction significative d'iode sous forme gazeuse pouvait attendre l'enceinte de confinement. Les modèles utilisés dans le code accident grave ASTEC ne permettent pas de rendre compte complètement du comportement de l'iode. Un programme de recherche et un dispositif expérimental ont été développés pour étudier le comportement chimique de l'iode durant son transport dans le circuit primaire, en présence de vapeur d'eau, césium et molybdène ou bore, produits susceptibles de modifier indirectement ou directement le comportement de l'iode.

Les résultats obtenus avec l'oxyde de molybdène montrent que la fraction d'iode volatil générée dépend du rapport Mo/Cs injecté à 1650°C. La formation d'iode gazeux est favorisée par la formation de molybdate de césium, limitant la formation d'aérosols de Csl. L'iode gazeux généré à 150°C est identifié, à plus de 50 %, en tant qu'iode moléculaire (I₂). Bien que la fraction expérimentale d'iode gazeux généré soit bien représentée par les simulations avec le module SOPHAEROS du code ASTEC, la spéciation de l'iode est calculée en tant qu'iodure d'hydrogène (HI). Les calculs, réalisés en ne prenant en compte que des réactions thermodynamiques entre les éléments, ne permettent pas de reproduire les résultats expérimentaux. Un modèle cinétique a donc été implémenté dans le code pour le système {I, O, H}. Cela permet une meilleure prédiction de la spéciation de l'iode.

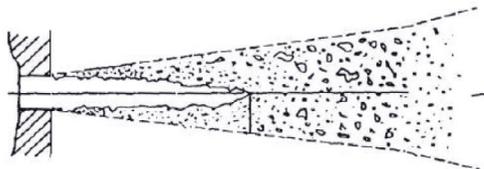
Les premiers résultats obtenus avec l'acide borique à la place de l'oxyde de molybdène montrent également l'influence du bore sur la fraction d'iode volatil généré. Des borates de césium sous forme condensée et de l'iode moléculaire gazeux sont générés à 150°C. Ces premiers résultats expérimentaux permettent de faire évoluer le code de calcul SOPHAEROS.

Sujet de la thèse :

Modélisation des rejets à l'environnement en cas d'accident de type RTGV.

Doctorant :	Adrien CARTONNET
Date du début de la thèse :	15/10/2010
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/LETR
Financement de thèse :	IRSN/EDF
Directeur de thèse :	Laurent Gasnot - Université de Lille
Tuteur de thèse :	Frédéric Cousin
Ecole doctorale :	Université Lille 1 Sciences et Technologies/SMRE

L'évaluation de la sûreté des réacteurs nucléaires et la gestion de crise en cas d'accident impliquent, pour chaque scénario accidentel possible, d'être en mesure d'évaluer avec précision la spéciation physico-chimique et l'inventaire isotopique de l'ensemble des éléments radiotoxiques qui pourraient être relâchés dans l'environnement. L'IRSN et EDF ont décidé en 2010 de lancer une action de recherche sur la chimie de l'iode dans des conditions de dépressurisation rapide du circuit primaire, conditions dites de « flashing ». L'objectif de cette thèse est de développer un modèle mécaniste permettant de mieux évaluer quelles pourraient être les conséquences radiologiques d'un accident dit de rupture de tube(s) de générateur de vapeur (RTGV). Lorsque survient une brèche sur un tube de GV, la différence de pression entre les circuits primaire et secondaire conduit à la formation d'un jet diphasique contenant un mélange de vapeur et de fines gouttelettes.



La phase gazeuse créée par le flashing aura une vitesse plus élevée que celle du liquide. Cette différence de vitesse mais également d'autres paramètres comme la géométrie de la brèche, les conditions thermohydrauliques initiales, conduisent à la déstabilisation de la phase liquide. On parle alors de fragmentation mécanique. Les échanges de chaleur peuvent se manifester par deux phénomènes, l'évaporation à la surface des gouttes et la formation de bulles de vapeur au sein de la goutte, qui conduisent à son éventuelle fragmentation thermique. Ces deux phénomènes sont à l'origine de la formation d'un spectre de gouttes (contenant des radioéléments dissous) qui peuvent selon leurs tailles être relâchées dans l'environnement après leur passage dans les sécheurs. Cette première partie de thèse consiste à développer une modélisation, regroupant les phénomènes physiques majeurs intervenant dans la formation de ces gouttelettes afin de prédire le spectre de gouttes et donc la fraction liquide susceptible d'être relâché dans l'environnement. Ce modèle a été introduit dans le logiciel de simulation des accidents graves ASTEC et est en cours de validation. La dernière partie traitera des aspects physico-chimiques de l'iode et plus particulièrement de la spéciation chimique de l'iode dans le circuit primaire pour calculer la partition gaz/liquide à la brèche du tube GV.

Sujet de la thèse :

Etude de l'ébullition en masse dans un milieu poreux modèle.

Doctorant :

Paul SAPIN

Date du début de la thèse :

29/11/2010

Unité (Direction/Service/Laboratoire) :

PSN-RES/SAG/LESAM

Financement de thèse :

IRSN

Directeur de thèse :

Marc PRAT - IMFT Toulouse

Tuteur de thèse :

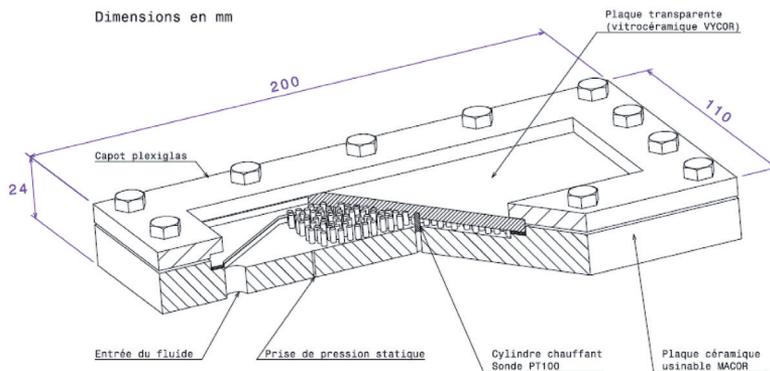
Florian Fichot

Ecole doctorale :

Université de Toulouse / MEGeP

A la suite d'un dysfonctionnement de longue durée sur le circuit de refroidissement d'un réacteur à eau pressurisée, la puissance résiduelle, habituellement évacuée grâce à la circulation du fluide caloporteur, provoque l'évaporation de l'eau, l'assèchement puis la dégradation des crayons de combustible. De la dégradation de ces crayons peut résulter la formation d'un lit de débris chaud, assimilable à un milieu poreux constitué de fragments de combustible dégageant une puissance thermique importante. Le renoyage du cœur par de l'eau peut permettre un refroidissement efficace. La compréhension de ce phénomène est primordiale.

L'étude de l'ébullition en masse dans un milieu poreux modèle proposée dans cette thèse vise à caractériser expérimentalement les échanges de chaleur à l'échelle du pore en fonction de caractéristiques de l'écoulement local lors d'un renoyage. Pour cela des milieux poreux modèles formés de cylindres de 2mm de diamètre aléatoirement disposés entre deux plaques ont été réalisés (cf. figure).



Dispositif expérimental - La section test

Chaque cylindre constitutif de ce milieu poreux est une sonde RTD (Resistance Temperature Detector) utilisée non seulement comme élément chauffant mais également pour les mesures de température et de flux de chaleur locaux. Chaque sonde est reliée à un système microélectronique d'asservissement qui peut contrôler et mesurer en temps réel le flux de chaleur transmis à l'élément ainsi que sa température. Une des plaques étant transparente, la visualisation à haute vitesse par ombroscopie nous fournit la distribution des phases au sein du poreux. La coordination de l'ensemble des mesures par ordinateur permet ainsi de relier l'échange de chaleur effectif au régime d'ébullition (ébullition nucléée, en film...). Il sera alors possible de proposer des corrélations macroscopiques incorporant plus précisément la physique observée à l'échelle du pore et de les intégrer aux modèles du code ICARE/CATHARE de l'IRSN.

Le gradient de pression au sein de la section test est également mesuré afin de caractériser les pertes de charges générées par l'ébullition, susceptibles notamment de provoquer des instabilités du front de vaporisation. Une étude analytique de stabilité linéaire est donc menée parallèlement à la campagne expérimentale pour identifier les phénomènes mis en jeu dans la déstabilisation du front.

Sujet de la thèse :

Modélisation des phénomènes d'oxydation sous air des gaines de crayons combustibles des centrales nucléaires en cas d'accident de dénoyage de piscine de stockage ou lors d'un accident grave .

Docteurant :

LASSERRE Marina

Date du début de la thèse :

09/11/2010

Laboratoire :

PSN-RES/SAG/LESAM

Financement de thèse :

IRSN/ARMINES/AREVA

Directeur de thèse :

Mme Pijolat - Ecole des mines de Saint Etienne

Tuteur de thèse :

Olivia COINDREAU

Ecole doctorale :

Ecole Nationale Supérieure des Mines/ SPIN-EMSE

Les gaines en alliage de zirconium, qui assurent la première barrière de confinement du combustible dans un réacteur nucléaire, peuvent être exposées à l'air au cours de différentes situations accidentelles : dénoyage d'une piscine d'entreposage, accident grave ou situation dégradée lors d'une opération de transport ou de manutention. La température des assemblages combustibles, privés de refroidissement, augmente alors d'autant plus que les gaines se corrodent dans l'air et que cette réaction est fortement exothermique. Du point de vue de la sûreté, il est essentiel de déterminer les conditions d'emballage de la température des gaines, et cela nécessite de connaître la cinétique d'oxydation sous air des gaines.

Expérimentalement, il a été montré que la présence d'air augmente la vitesse de corrosion comparée à une atmosphère de vapeur d'eau ou d'oxygène (Figure 1). Les courbes de vitesses obtenues par analyses thermogravimétriques révèlent une transition cinétique due à l'apparition de fissures dans la couche d'oxyde. L'étape de pré-transition est contrôlée par la diffusion des lacunes d'oxygène dans la couche d'oxyde et la vitesse suit donc une loi cinétique parabolique. Durant l'étape de post-transition, la présence d'azote dans l'air joue un rôle essentiel, mais encore mal compris à ce jour, dans l'accélération de la prise de masse.

Nos travaux portent sur l'étude du phénomène de corrosion de plaquettes de Zircaloy-4 à 850°C sous mélanges oxygène-azote et sur la détermination du mécanisme réactionnel dans le domaine post-transitoire. Une étude cinétique est menée dans le but d'obtenir un modèle complet décrivant l'influence des variables intensives du système telles que les pressions partielles d'oxygène et d'azote. La validation des tests de cinétique hétérogène nous ont permis d'écrire dans un premier temps, le mécanisme réactionnel sous la forme d'une succession d'étapes élémentaires faisant intervenir des intermédiaires réactionnels et de confirmer dans un second temps, l'existence d'un régime cinétique limitant en post-transition. Les techniques de microscopie optique, microscopie à balayage électronique, tomographie à rayons X et EDX-SDD ont été utilisées pour mettre en évidence les différentes réactions pouvant se produire au cours de la transformation mais aussi pour comprendre l'évolution de la transition cinétique au cours du temps.



Sujet de la thèse :

Schémas à mailles décalées pour les écoulements compressibles.

Doctorant :

Tan Trung NGUYEN

Date du début de la thèse :

01/12/2009

Laboratoire :

PSN-RES/SA2I/LIE

Financement de thèse :

Cofinancement EDF

Directeur de thèse :

Raphaële HERBIN - AMU

Tuteur de thèse :

Jean-Claude LATCHE

Ecole doctorale :

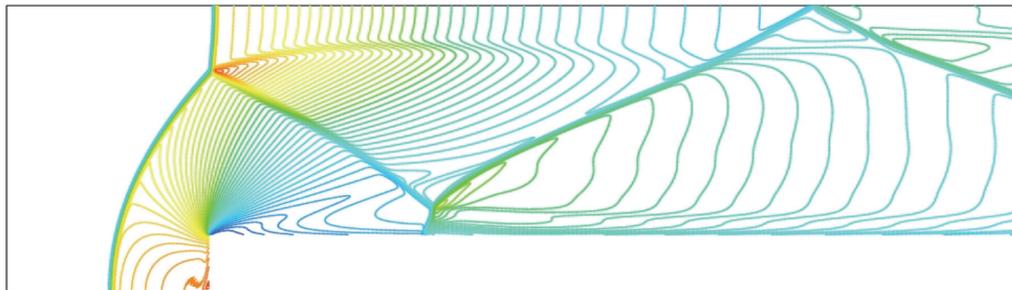
AMU, Mathématique et Informatique - ED184

Accurate simulation of compressible flows is of great practical importance in many scenarios encountered in nuclear safety studies : (hydrogen) explosion hazards, Lost-Of-Vacuum (LOVA) accident envisaged on the ITER facility... To deal with such issues, PSN/RES is currently enlarging the scope of the home-made CFD code ISIS to compressible flows. This is the context of this thesis.

More precisely speaking, the aim of the work presented here is to develop a family of schemes for the compressible Navier-Stokes equations (i.e. the system of partial differential equations composed of mass, momentum, and total energy balances and governing compressible flows). These schemes are explicit variants of an "all Mach implicit scheme" already implemented in ISIS, thus providing an efficient alternative for fast transients. The chosen spatial discretization (in fact, the ISIS one) is staggered: non conforming low order finite elements, for general domains, or the MAC scheme, when a Cartesian grid may be used. Developed schemes do not rely on Riemann solvers; instead, an upwind finite volume discretization is performed equation by equation and with respect to the material velocity only (and not the celerity of waves). On staggered discretizations, it is more natural and robust to work with the internal energy equation; in particular, the positivity of internal energy is ensured by construction. However, we face the problem that this approach may yield a scheme which does not converge to the correct weak solution in the presence of shocks. Indeed, roughly speaking, this consistency property requires for the scheme to be consistent with the original conservative equations, and in particular the total energy balance. The original idea to circumvent this problem is the following one:

- derive a kinetic energy balance at discrete level, with some residual terms,
- insert corrective terms in the internal energy equation compensating these residual terms, in such a way that the total energy equation is recovered when the mesh and time steps tend to zero.

This strategy has been implemented, and, both theoretically and through numerical tests, we prove that the limit of a convergent sequence of discrete solutions is the correct weak solution.



Mach 3 flow over a facing step - Isovalues of the density.



Sujet de la thèse :

Intégration des plans d'expériences numériques hybrides d'optimisation-inversion en expertise de sûreté-criticité.

Doctorant :

Clément CHEVALIER

Date du début de la thèse :

01/11/2010

Unité (Direction/Service/Laboratoire) :

PSN - EXP/SEC/LERD et
 Institute of mathematical statistics (Berne)
 IRSN et Consortium ReDice
 Lutz Dümbgen (Université de Berne)
 Yann Richet et David Ginsbourger (u. Berne)
 Université de Berne

Financement de thèse :

Directeur de thèse :

Ecole doctorale :

Les études de sûreté nucléaire du Service d'études de Criticité de l'IRSN visent à déterminer si un système contenant de la matière fissile présente un risque de criticité. Les ingénieurs disposent d'un code de calcul MORET, couteux en temps de calcul, qui renvoie un coefficient de multiplication neutronique, keff.

Le keff d'un système dépend de plusieurs paramètres, contrôlés ou non (température, quantité de matière fissile, etc.) et le rôle de l'ingénieur est de s'assurer qu'aucune configuration plausible ne conduit à un keff supérieur à 0.95 (correspondant au seuil critique de 1 corrigé d'une marge de sécurité). Mathématiquement on est donc amené à résoudre plusieurs problèmes :

- Rechercher les paramètres (inputs) qui donnent le keff le plus élevé : problème d'optimisation
- Rechercher l'ensemble des inputs qui donnent un keff supérieur à 0.95 : problème d'inversion
- Rechercher l'ensemble des inputs contrôlés (ex : quantité de matière fissile) qui donnent un keff inférieur à 0.95 quelle que soit la valeur prise par les inputs non contrôlés: problème d'optimisation-inversion.

Dans cette thèse nous nous focalisons sur le second et le troisième problème. Nous choisissons de recourir à un métamodèle : le krigeage. À partir d'un nombre limité d'évaluations nous construisons une surface de réponse estimée du simulateur ainsi qu'une mesure d'incertitude sur cette réponse.

Ces quantités servent de base pour construire une stratégie séquentielle d'évaluation du simulateur. Pour des problèmes de recherche de l'ensemble de défaillance, plusieurs stratégies ont déjà été proposées, mais il a été montré que certaines d'entre elles permettaient d'obtenir un bon résultat plus rapidement. Ces stratégies ont toutefois l'inconvénient d'être eux-mêmes couteuses en temps de calcul. De plus elles ne sont pas être adaptées au cas - fréquent en pratique - ou l'ingénieur dispose de plusieurs CPU pour évaluer plusieurs configurations simultanément.

Notre contribution dans cette thèse apporte une solution aux deux problèmes mentionnés ci-dessus. Un exemple de stratégie parallèle est donné sur la figure ci-dessous sur une fonction de deux variables.

Nous présentons également des stratégies séquentielles visant à traiter les problèmes d'optimisation-inversion. Ce travail vise en pratique à améliorer la qualité et l'exhaustivité des conclusions produites dans les avis de l'IRSN.

.../...

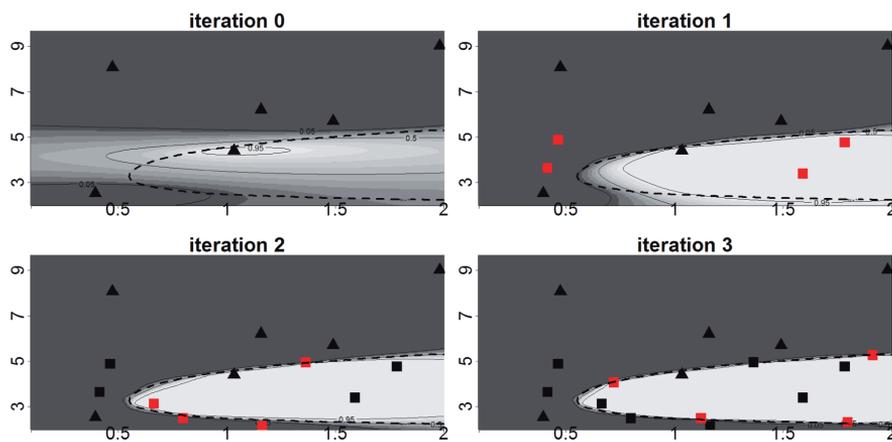


Figure: 3 itérations d'une stratégie parallèle qui vise à retrouver l'ensemble d'excursion (délimité par les pointillés) d'une fonction de deux variables.



Session plénière

Accident de Fukushima : R&D en lien, investissements d'avenir

Amphiothéâtre Quen Mary 2

Vendredi 5 octobre : 8h30 - 10h40

Président : Jean COUTURIER
IRSN

Andrea BACHRATA, Modélisation du renoyage d'un cœur de réacteur fortement dégradé

Romain SUCHET, Information du Grand public: les stratégies de communication pour accroître la résilience de la société en situation radiologique post-accidentelle

Fabien PANZA, Développement de la spectrométrie gamma in situ pour la cartographie de site

Audrey STERNALSKI, Effets des rayonnements ionisants chez les oiseaux dans la zone contaminée de Fukushima

Gianni BRUNA : Synthèse des travaux des task groups sur les travaux R&D post-Fukushima - Clôture



Sujet de la thèse :

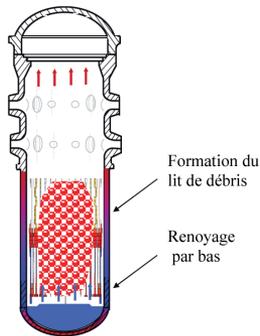
Modélisation du renoyage d'un cœur dans le cas d'un réacteur fortement dégradé.

Doctorant :
Date du début de la thèse :
Laboratoire :
Financement de thèse :
Directeur de thèse :
Ecole doctorale :

BACHRATA Andrea
06/10/2009
PSN-RES/SAG/LESAM
cofinancement EDF
Michel Quintard (IMFT), Florian Fichot (IRS N)
INP Toulouse, SU2E

Un accident grave est qualifié comme un événement hautement improbable, mais déjà survenu aux Etats-Unis en 1979. En plus, les événements récents au Japon sur les centrales nucléaires de Fukushima ont montré que ce type d'accident peut survenir et que son impact sur l'environnement et la vie publique est considérable. Ce type d'accident peut résulter d'une suite d'événements qui aboutit à la fusion partielle du cœur du réacteur. Les matériaux fondent progressivement et s'accumulent en fond de cuve. Compte tenu de la forte puissance résiduelle dégagée par les matériaux du cœur, il y a un risque de rupture de la cuve du réacteur et de contamination de l'environnement. Ces matériaux doivent donc être refroidis le plus rapidement possible. Suivant l'instant de déclenchement de l'injection d'eau dans un cœur dégradé (appelée renoyage) les zones du cœur présentent des degrés de dégradation variables. Ceci conduit à des écoulements 3D double phase dans la cuve. La modélisation de cette hydraulique est primordiale dans le développement du code ICARE-CATHARE qui est un des outils de l'IRSN pour les études de sûreté.

Dans le cadre du développement du code ICARE-CATHARE, l'objectif de cette thèse a été de développer un modèle de renoyage 3D capable de traiter les configurations du cœur dégradé lors d'un accident grave.



Renoilage (injection d'eau) dans un cœur fortement dégradé- formation du lit de débris

Le modèle proposé est présenté en soulignant les améliorations. Le modèle est caractérisé par un traitement du déséquilibre thermique entre les phases solide, liquide et gazeuse. Il inclut aussi deux équations de quantité de mouvement (une pour chacune des phases fluides). Dans cette thèse, les améliorations significatives ont été apportées sur les lois de transfert de chaleur dans différentes zones d'ébullition. Les critères caractérisant la transition entre différents régimes d'écoulement ont été mieux définis. En parallèle, l'IRSN a lancé un programme expérimental (essais PRELUDE et PEARL) dont l'objectif est de permettre la validation du modèle sur un dispositif 2D représentatif du renoyage de

particules. L'analyse des résultats expérimentaux permet de vérifier les lois physiques proposées et la cohérence du modèle global. La validation quantitative sur les données expérimentales a été réalisée et a montré que le modèle fournit des résultats satisfaisants. Enfin, une discussion a été entamée sur les conditions d'application de ce modèle à l'échelle d'un cœur de réacteur, en étudiant plus particulièrement les aspects 2D dus à la progression radiale de l'eau dans certaines situations.



Sujet de la thèse :

Crise nucléaire simulée ou réelle : organisation et communication sur les risques nucléaires.

Doctorant :	Romain SUCHET
Date du début de la thèse :	05/10/2009
Laboratoire :	DCOM
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Jean-Yves DORMAGEN - Université de Montpellier
Tuteur de thèse :	Marie-Pierre BIGOT & Geneviève BAUMONT
Ecole doctorale :	Université Montpellier I / CEPEL

La recherche est construite sur une approche visant à étudier trois moments-clés de l'organisation et de la communication de crise nucléaire : la préparation à la crise à travers la mise en place de l'organisation, son test lors des exercices, et enfin son étude lors de crises réelles. Les pistes d'évolution de l'organisation nationale de crise au regard de la réalité sociale lors de l'accident de Fukushima sont évoquées. Après avoir replacé le risque nucléaire dans un contexte historique, les différences de représentation de la notion de « crise nucléaire » selon les acteurs (politique, technique, population ou médias) sont présentées, afin de mieux comprendre la construction de l'organisation de gestion de crise nucléaire. Il a été constaté que les enjeux liés à la population n'étaient pas initialement prioritaires dans cette construction.

Ensuite, grâce à une méthodologie basée sur des entretiens et des observations, la mise en pratique de cette organisation dans une situation d'exercices de crise a été décrite. Il semble que le caractère artificiel de l'exercice de crise, du fait notamment du manque d'implication de la population, pouvait conduire à tester une organisation artificielle. Néanmoins, si les exercices de crise ne permettent pas de savoir si la France sera capable de faire face à un accident nucléaire de grande ampleur, ils permettent de maintenir à l'esprit de tous qu'un accident est toujours possible et à certains acteurs, de continuer à améliorer l'organisation prévue.

L'intérêt de cette recherche est également d'aborder cette organisation de crise à travers des incidents nucléaires que la France a connus ces dernières années : Tricastin, Saint-Maur des Fossés, Centrac, etc. Lors de ces incidents, la réalité sociale (population et médias notamment) a obligé l'organisation à se restructurer et à sortir des habitudes instaurées lors de la préparation et des exercices de crise. L'accident nucléaire de Fukushima de mars 2011 a encore renforcé ces évolutions. Cet accident relance en France les problématiques liées à la communication, l'information préalable, et les réponses à apporter à la société civile qui devient active. En effet, au delà de l'ampleur de la catastrophe, c'est le premier accident nucléaire survenu à l'ère du développement des réseaux sociaux permis par les nouveaux moyens de communication : ils changent drastiquement la manière de concevoir la gestion de l'information. Aussi, cet événement a été traité sous l'angle de la gestion de l'accident par l'IRSN, et principalement de la gestion de l'information délivrée au public et aux médias. Il a été montré que l'IRSN a su se réorganiser pour répondre aux attentes de ces acteurs.



Sujet de la thèse :

Développement de la spectrométrie gamma in situ pour la cartographie de site.

Doctorant :	Fabien PANZA
Date du début de la thèse :	01/09 /2009
Laboratoire :	PRP-ENV/STEME/LMRE
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Abdelnjid Nourredine - IRES Strasbourg
Tuteur de thèse :	Rodolfo GURRIARAN
Ecole doctorale :	Strasbourg- Physique et chimie physique ED182

La spectrométrie gamma à haute résolution offre actuellement un outil d'analyse performant pour effectuer des mesurages environnementaux. Dans le cadre de la caractérisation radiologique d'un site (radioactivité naturelle ou artificielle) ainsi que pour le démantèlement d'installations nucléaires, la cartographie des radionucléides est un atout important. Le principe consiste à déplacer un spectromètre HPGe sur le site à étudier et, à partir des données nucléaires et de positionnements, d'identifier, de localiser et de quantifier les radionucléides présents dans le sol. Le développement de cet outil fait suite à une intercomparaison (ISIS 2007) où un exercice orienté intervention/crise a montré les limites des outils actuels. Une grande partie de ce travail de recherche s'est porté sur la représentation cartographique des données nucléaires. La connaissance des paramètres d'un spectre in situ a aidé à la création d'un simulateur modélisant la réponse d'un spectromètre se déplaçant au-dessus d'un sol contaminé. Ce simulateur a lui-même permis de développer les algorithmes de cartographie et de les tester dans des situations extrêmes et non réalisables réellement. Ainsi, ce travail de recherche débouche sur la réalisation d'un prototype viable donnant en temps réel les informations nécessaires sur l'identité et la localité possible des radionucléides. Le travail réalisé sur la déconvolution des données permet de rendre en post traitement une carte de l'activité du sol par radionucléide mais également une indication sur la profondeur de la source. Le prototype nommé OSCAR a ainsi été testé sur des sites contaminés (Suisse et Japon) et les résultats obtenus sont en accords avec des mesures de référence



Sujet de la recherche :

Effets des rayonnements ionisants chez les oiseaux dans la zone contaminée de Fukushima : liens entre dose, mécanismes moléculaires impliqués et conséquences délétères sur la reproduction.

Doctorant :	Audrey STERNALSKI
Début du post-doctorat :	16/04/2012
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/LECO
Financement du post-doctorat :	IRSN / ANR Freebird
Tuteur du post-doctorat :	Christelle Adam

La catastrophe nucléaire de Fukushima en mars 2011 a conduit au rejet dans l'environnement d'une quantité massive d'éléments radioactifs, représentant environ 10% la quantité rejetée de Tchernobyl en 1986. Actuellement, la majorité des éléments radioactifs rejetés semblent être des produits de fission volatiles (majoritairement les césium-137 et -134 et l'iode-131, ainsi que plusieurs autres radionucléides à vie courte (e.g., ^{129m}Te , ^{129}Te , ^{132}I , ^{136}Cs). Ces rejets atmosphériques ont engendré une contamination radioactive de l'écosystème terrestre autour du site, avec une zone très contaminée qui s'étend jusqu'à 80-km vers le Nord-Est. En conséquence, un gradient de débits de dose chroniques variant depuis le bruit de fond normal (quelques dizaines de nGy/h) à plusieurs 100 $\mu\text{Gy/h}$ existe dans une zone de ca. 100-km de diamètre autour de la centrale de Fukushima. Un tel débit de dose est d'un ordre de grandeur au-dessus de la valeur considérée comme protectrice pour les animaux sauvages.

Le travail vise à l'acquisition de nouvelles données de terrain relatives aux effets des rayonnements ionisants sur les animaux sauvages dans la zone contaminée de Fukushima avec une emphase particulière sur la compréhension des mécanismes mis en jeu à l'échelle subcellulaire et la façon dont ces effets se propagent à long terme sur les populations. Le contexte de Fukushima présente des similarités avec la zone d'exclusion de Tchernobyl (e.g., écosystèmes forestiers, gradients de niveaux de contamination; radionucléides à vie courte comme le ^{137}Cs et le ^{131}I avec des gammes similaires de concentrations dans les sols). De surcroît, il offre l'opportunité de produire de nouveaux résultats scientifiques dans une période proche d'un accident nucléaire grave, cette période ayant été très peu abordée à Tchernobyl en ce qui concerne les recherches sur les effets écologiques.

L'objectif de ce projet est double : il s'agit tout d'abord d'établir de façon robuste, des relations dose - réponse à plusieurs niveaux d'organisation chez les oiseaux, par la modélisation, validée dans un second temps par des mesures de terrain.

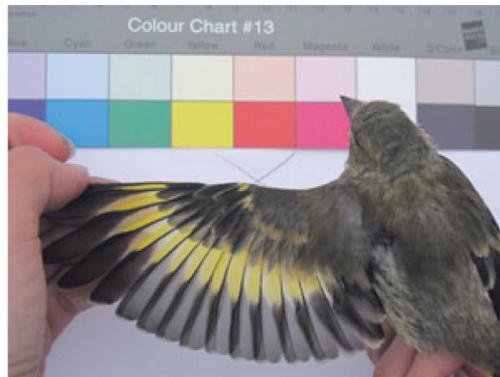
Le second objectif est plus fondamental. Il vise à mettre en évidence des signaux d'alarme précoces basés sur l'expression de la coloration chez les oiseaux qui permettrait d'alerter sur des altérations potentielles de la capacité reproductrice. Les mécanismes sous-jacents et les cascades de réactions biochimiques seront révélés à travers une investigation approfondie du statut physiologique des oiseaux et du lien causal avec des altérations d'évènements d'accouplement et de ponte.

Ce projet sera dédié à trois espèces d'oiseaux, contrastées en termes de physiologie de la reproduction et d'écologie comportementale : l'hirondelle des cheminées, le verdier Oriental et le grand cormoran. Il utilisera une stratégie d'échantillonnage le long d'un gradient d'exposition radiologique dans la zone des 100-km, durant deux périodes majeures : la première mue après l'accident et la période de reproduction suivante.

L'approche proposée consistera à étudier tes conséquences comportementales et physiologiques de l'exposition aux rayonnements ionisants chez les oiseaux sauvages - en relation avec le développement et l'expression des signaux sexuels et l'investissement dans la reproduction. Les effets de l'exposition environnementale aux rayonnements ionisants seront étudiés sur plusieurs facteurs physiologiques clés (niveaux d'hormones, Immunité, stress oxydant, génotoxicité et qualité du sperme).

De cette façon, les résultats permettront de comprendre comment l'exposition aux radiations affecte l'allocation des ressources (e.g., pigments, antioxydants) entre les processus liés à la survie (immunité, stress oxydant) ou à la reproduction (élaboration de signaux sexuels, investissement reproductif).

L'ensemble de ces données permettra de produire un nouveau jeu de données sur les effets des rayonnements ionisants chez les animaux sauvages (oiseaux) exposés de façon réaliste dans des conditions de terrain. Ces données pourront être comparées aux critères de protection écologique actuels, ces dernières étant basées principalement sur des données acquises en conditions contrôlées en laboratoire. Enfin, ce projet permettra de répondre à certaines incertitudes ou controverses portant sur les effets écologiques d'une situation d'exposition chronique à Tchernobyl.



Analyse colorimétrique des plumes des oiseaux



Sessions posters (doctorants de 1ère année)

Pôle sûreté : incendie, confinement, neutronique,
génie civil, méthodes

Damien BOUFFLERS Étude des mécanismes de formation des précurseurs de suies dans des flammes de méthane pré-mélangées dopées à différentes richesses

Arnaud BRUNNER Étude expérimentale de l'effet de la sous-ventilation sur les paramètres de combustion en régime radiatif dominant

Jules GOULIER Comportements aux limites de flammes de prémélange hydrogène/air/diluants. Étude de la transition flamme laminaire-flamme turbulente

Assia BOUAROURI Développement d'un système de mesure à 10 Hz de concentration d'aérosol atmosphérique

Soleiman BOURROUS Étude du colmatage de filtres THE plans et à petits plis par des agrégats de nanoparticules simulant un aérosol de combustion

Zakaria MANA Étude de la suspension de particules à l'intérieur d'un local sous l'effet de la marche d'un opérateur

Simon DELCOUR Étude des mécanismes physico-chimiques de mise en suspension de contaminants particulaires lors de la dégradation thermique de matériaux représentatifs des installations nucléaires

Pierre MARCHAL Caractérisation et impact des particules incandescentes dans les réseaux de ventilation

Guillaume DUPOUY Méthodes de validation de systèmes d'aide à la décision en contexte incertain - évaluation du risque lié à une activité industrielle nucléaire

Ghislain FERRAN Méthodes avancées pour le traitement des données nucléaires
Adrien HILAIRE Étude des déformations différées des bétons en compression et en traction, du jeune au long terme. Application aux enceintes de confinement.

Emmanuel MATHE Comportement des radiocontaminants dans le ciel de pile et l'enceinte de confinement d'un RNR refroidi au sodium en situation accidentelle : partition de radioéléments

Adrien HILAIRE Étude des déformations différées des bétons en compression et en traction, du jeune au long terme. Application aux enceintes de confinement.

Pôle radioprotection : sismologie, métrologie des radionucléides, toxicologie, radiobiologie, dosimétrie

Elise VI NHU BA Détection des failles et des zones de fracturation dans les calcaires supérieurs et les argilites de la station expérimentale de Tournemire par combinaison d'imagerie sismique Très Haute Résolution et de résistivité électrique

Mokrane BELHARET Modélisation numérique de la dispersion en mer des radionucléides rejetés lors de l'accident de la centrale de Fukushima et transfert au milieu biologique

Christiane DUFRESNE Compréhension et analyse des processus hydrosédimentaires dans la baie de Toulon. Apport à la modélisation de la dispersion des radionucléides

Sophie GRIVÈS Étude de la toxicité et de l'efficacité in-vivo de formes galéniques de calixarène développés pour le traitement des contaminations cutanées dues à des composés d'uranium

Clélia LE GALLIC Influence d'une contamination chronique par ingestion de césium 137 sur la progression de la pathologie athéromateuse

Damien DRUBAY Analyse de la relation dose-réponse aux faibles doses et faibles débits de dose pour les risques de mortalité par cancer et par maladie cardiovasculaire chez les mineurs d'uranium

Adrien MARGERIT Predictive ecotoxicology as a tool to access risks of radionuclides on non human biota in a multi-contamination context

Adeline BUISSET Études des effets chroniques des rayonnements ionisants chez un organisme modèle, *Caenorhabditis elegans* : du moléculaire à la dynamique des populations, via le développement d'un modèle bioénergétique

Sarah BAGHDADI Analyse des actinides dans les urines par couplage entre les colonnes calixarène et la spectrométrie de masse à plasma inductif

Emilie RANNOU Étude de l'implication du compartiment vasculaire dans l'initiation et la progression des lésions intestinales radio-induites : conséquences de l'inactivation temporelle de PAI-1 spécifiquement dans l'endothélium sur les fonctions physiologiques associées aux dommages radio-induits aux tissus sains

Neige JOURNY Analyse de la relation entre l'exposition aux rayonnements ionisants lors d'examens tomodensitométriques et la survenue de pathologies tumorales au sein de la cohorte « enfants scanner »

Alexandra MOIGNIER Dosimétrie cardiaque à l'aide de fantômes numériques hybrides dans le cadre de traitements par radiothérapie

Cyril MOIGNIER Dosimétrie des faisceaux de photons de petites dimensions utilisés en radiothérapie stéréotaxiques : détermination des données dosimétriques de base et évaluation des TPS

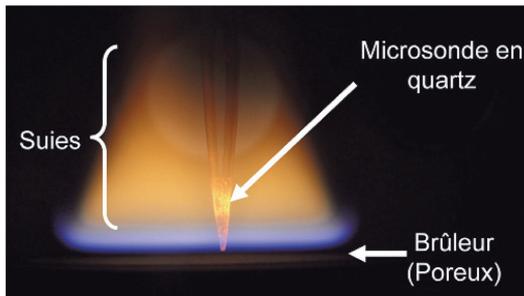
Alice PETITGUILLAUME De la dosimétrie standard à la dosimétrie personnalisée en médecine nucléaire : prise en compte de la morphologie et de la biocinétique spécifique au patient

Sujet de la thèse :

Étude expérimentale et modélisation de la formation des précurseurs de suies et des suies dans des flammes de prémélanges à différentes richesses (cas du n-butane).

Doctorant : Damien BOUFFLERS
Date du début de la thèse : 21/11/2011
Laboratoire : Laboratoire commun PC2A et PSN-RES/SA2I/LIE
Financement de thèse : IRSN
Directeur de thèse : Abderrahman EL BAKALI - Université de Lille
Encadrant IRSN : Laurence RIGOLLET
Ecole doctorale : Université Lille 1/Ecole Doctorale-104 Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'environnement

Dans le cadre de cette thèse, les travaux s'inscrivent dans une problématique d'incendie et ceci plus particulièrement dans une installation nucléaire. Lors d'un incendie dans ce type d'installation, il est impératif de sauvegarder le confinement des locaux. Le confinement est rendu possible par l'intermédiaire d'une ventilation gardant la zone d'activité en constante dépression, mais aussi au moyen de barrières de filtres. Cependant lors d'un incendie, une élévation de la température et de la pression dans l'installation peut libérer des aérosols (suies) vers d'autres locaux de l'installation et vers l'environnement, d'une part et entraînent d'autre part un colmatage des filtres (diminution du débit de ventilation, voire rupture des filtres). Il paraît ainsi nécessaire de caractériser les suies émises lors d'un incendie pour introduire les informations obtenues dans un modèle de colmatage, afin de prédire les éventuelles complications suite à l'incendie. En plus de l'impact des particules sur les filtres, la vitesse de propagation de l'incendie ainsi que l'agression thermique de l'environnement sont directement liées aux propriétés radiatives de la flamme, elles-mêmes dépendantes de la quantité de suies produites lors de la combustion. Or, les mécanismes de production des suies sont encore mal connus notamment pour les combustibles lourds. Par ailleurs, les situations d'incendie présentent localement des conditions de combustion où combustible et comburant se mélangent dans des proportions variables, principalement sous l'effet de la turbulence. Afin d'améliorer la prédiction de la quantité de suies dans les codes de calcul d'incendie, il est nécessaire de disposer au préalable d'un mécanisme chimique détaillé capable de rendre compte de la formation des précurseurs de suies, constitués notamment par les hydrocarbures poly-aromatiques (HAP) et ce, pour différentes proportions de mélange combustible/comburant et à différentes pressions.



La thèse s'appuiera sur une double approche expérience/modélisation cinétique. L'expérience permettra de fournir une base de données inédite indispensable pour le développement et la mise au point d'un modèle de formation de suies qui est l'objectif ultime de la thèse. La robustesse du mécanisme chimique sera évaluée grâce à l'étendue de la base de données, qui concernera des flammes de différentes richesses, et donc couvrant une large

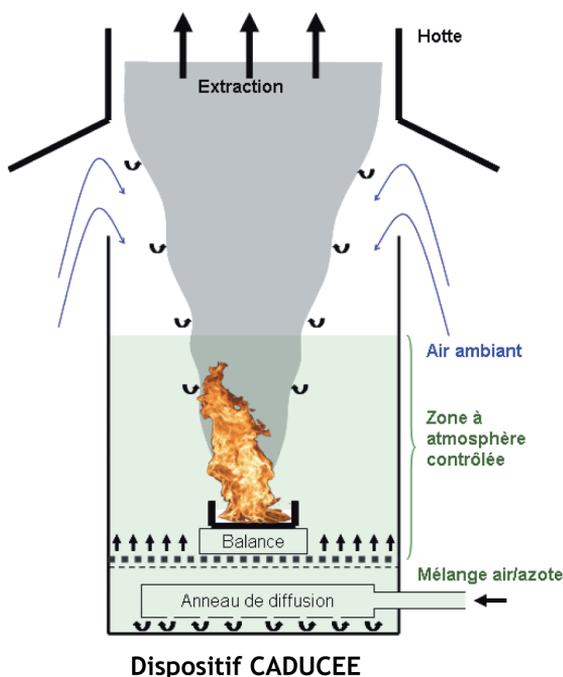
gamme de teneurs en suies, et les données de la littérature. Expérimentalement, on établira les profils de fraction molaire d'un grand nombre d'espèces chimiques jouant un rôle crucial dans la formation des précurseurs de suies en combinant la chromatographie et spectrométrie de masse (GC-MS), après extraction par microsonde du volume gazeux dans la flamme. Les profils de fraction volumique de suies et de leurs précurseurs seront obtenus in situ par diagnostics laser : incandescence induite par laser (LII) et fluorescence induite par laser (LIF). Au niveau modélisation, ces mesures permettront d'élaborer des schémas cinétiques du combustible qui couvrent des conditions opératoires très larges en terme de richesse et pression.

Sujet de la thèse :

Effet de la sous-ventilation sur les paramètres de combustion en régime radiatif dominant

Doctorant : BRUNNER Arnaud
 Date du début de la thèse : 01/02/2012
 Laboratoire : PSN-RES/SA2I/LEF et labo commun ETIC
 Financement de thèse : IRSN
 Directeur de thèse : Porterie Bernard/ AMU
 Tuteur de thèse : Mickaël COUTIN
 Ecole doctorale : IUSTI (Université Aix-Marseille) - Sciences pour l'ingénieur : Mécanique, Physique, Micro- et Nanoélectronique - ED 353

Un incendie qui se déclare dans une installation nucléaire aboutit souvent à une problématique de feux confinés et sous-ventilés. La consommation de l'oxygène ambiant avec un apport d'air limité peut alors conduire au développement d'un feu en milieu sous-oxygéné. La viciation du milieu ambiant modifie en retour la réaction de la flamme vers le matériau combustible et donc influence significativement le processus de pyrolyse. Il est dès lors nécessaire d'étudier les effets du niveau d'oxygène ambiant sur les paramètres de combustion. Les principaux paramètres de combustion sont la production de suies et de gaz issus de la combustion, le débit de pyrolyse du matériau combustible, les transferts radiatifs de la flamme vers son environnement et en retour sur le matériau combustible, ainsi que la température et la géométrie de la flamme. Le but de la thèse est d'approfondir les effets du niveau d'oxygène en particulier sur la pyrolyse et donc sur la puissance et le développement du feu



Le dispositif CADUCEE (Controlled Atmosphere Device for Unburnt and Carbon Emission Evolution) a été construit pour répondre aux besoins de cette étude. Il s'agit d'une enceinte de 3 m de diamètre sur 3 m de hauteur pouvant accueillir des feux de nappe allant jusqu'à 50 cm de diamètre. Ce calorimètre de moyenne échelle permet de maîtriser le niveau d'oxygène à proximité du feu. Une première campagne d'essais a permis de qualifier le dispositif CADUCEE. On a ainsi mis en évidence la dépendance entre le débit massique surfacique de combustion et le niveau d'oxygène dans l'air ambiant. Ces essais ont également permis d'évaluer l'importance des différentes conditions expérimentales sur le débit massique de combustion. Lors des prochains essais, une grande attention sera portée aux conditions aux limites au niveau du bac. Enfin, le dispositif expérimental sera équipé d'une métrologie plus importante : mesures d'oxygène à proximité de flamme et fluxmètres notamment.

Sujet de la thèse :

Comportement aux limites de flammes de prémélange hydrogène/air/diluants. Étude de la transition flamme laminaire-flamme turbulente

Doctorant :

GOULIER Jules

Date du début de la thèse :

01/10/2011

Laboratoire :

IRSN/PSN-RES/SAG/BPhAG

Financement de thèse :

IRSN CNRS

Directeur de thèse :

Nabiha Chaumeix - CNRS Orléans

Tuteur de thèse :

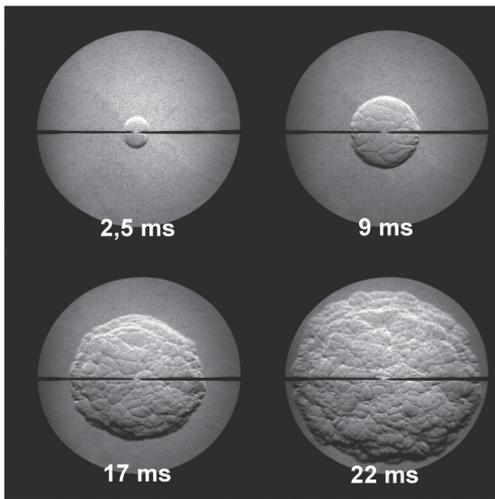
Ahmed BENTAIB

Ecole doctorale :

Ecole doctorale de l'université d'Orléans

L'évaluation du risque d'explosion d'hydrogène, dans l'enceinte de confinement de réacteurs en situation d'accident grave ou dans les laboratoires et les usines suite à une fuite d'hydrogène, a fait l'objet de nombreux travaux de recherche, notamment sur les différents phénomènes intervenant dans la combustion de l'hydrogène.

La propagation d'une flamme peut se faire suivant deux principaux modes : la déflagration (subsonique par rapport aux gaz frais) et la détonation (célérité supersonique). Pour les régimes de propagation intermédiaires, on parle de flammes accélérées. Dans une déflagration, l'écoulement des gaz à travers le front de flamme peut être laminaire ou turbulent. En régime laminaire, la vitesse de flamme est une grandeur caractéristique des gaz frais et donc une propriété intrinsèque du mélange. En régime turbulent, la vitesse de propagation de la flamme dépend de l'intensité de la turbulence qui peut être produite par l'encombrement du local ou par la flamme elle-même.



Propagation d'une flamme d'hydrogène dans l'air ($x_{H_2}=13\%$)

Ces travaux de thèse visent principalement à caractériser la propagation des flammes accélérées, avec notamment les conditions de formation des cellularités et leur impact sur l'accélération de la flamme, ainsi que l'impact de l'ajout de diluants. Les limites d'inflammabilité ascendantes/descendantes seront également étudiées selon l'énergie d'allumage utilisée : par étincelle ou par focalisation d'un laser. Une fois les données acquises, il s'agit d'établir une corrélation déterminant la vitesse de propagation de flammes des mélanges H₂/air/diluants pour différentes intensités de turbulence incluant les régimes d'extinction de flammes. Les travaux de thèse seront réalisés sur deux installations expérimentales : une bombe sphérique à inflammation centrale, SF3, et une enceinte verticale encombrée d'obstacles, Enaccef. La bombe sphérique sera utilisée pour caractériser l'apparition des cellularités et établir la corrélation

pour la vitesse des flammes turbulentes H₂/air/diluants. L'installation Enaccef sera utilisée pour produire des essais bien instrumentés permettant de valider la corrélation développée sur la bombe sphérique.

Travaux effectués durant cette première année de thèse :

- Etude bibliographique sur l'interaction flamme laminaire - turbulence,
- Détermination expérimentale des limites d'inflammabilité H₂/air/H₂O_{vap},
- Conception et mise en place d'une nouvelle bombe sphérique équipée d'un système de ventilation pour générer une turbulence homogène/isotrope,
- Mise en place d'un dispositif expérimental pour la quantification de la turbulence générée,
- Participation à des colloques internationaux (présentation orale et poster).

Sujet de la thèse :

Développement d'un système de mesure à 10 Hz de concentration d'aérosol atmosphérique.

Doctorant :	Assia BOUAROURI
Date du début de la thèse :	30/09/2011
Laboratoire :	CNRS/DEA/LPGP - IRSN/SCA/LPMA
Financement de thèse :	CNRS / IRSN
Directeur de thèse :	Jean-Pascal BORRA
Tuteur de thèse :	François GENSDARMES
Ecole doctorale :	Université Paris Sud / ED Onde et matière

Le but de la thèse est de développer un système de mesure de concentration d'aérosol atmosphérique à 10 Hz pour deux classes granulométriques (< 100 nm et > 100 nm). Un tel appareil permettra d'évaluer les vitesses de dépôts secs par eddy correlation en mesurant également les fluctuations verticales de la vitesse du vent.

Une étude exploratoire initiée en 2010 entre le CNRS et l'IRSN a montré la faisabilité de telles mesures « rapides » de concentrations avec des aérosols tests. L'objectif de la thèse est d'optimiser les différents éléments du premier prototype. Le principe proposé, s'appuie sur la charge électrique de l'aérosol par diffusion d'ions gazeux produits par une décharge Corona en géométrie pointe-plan et des mesures de courant de particules chargées.

L'objectif de la première année de la thèse est d'optimiser la source d'ions en termes de densité d'ions et de courant d'ions maximum en post-décharge, sans affecter la stabilité temporelle de la densité d'ions requise pour la précision de la mesure de concentration. L'extraction des ions de l'espace inter-électrodes vers la zone de charge résulte d'une compétition électro-hydrodynamique. Une étude de l'ensemble des paramètres électrique et géométriques influents sur la décharge et le transport des ions (tension de la décharge, distance inter-électrode, rayon de courbure de la pointe...) a été menée dans une géométrie de référence.

L'extraction des ions est un point crucial pour atteindre de fortes densités en post-décharge. En effet, jusqu'à 99% des ions produits sont collectés sur le plan de décharge, sur les bords et les parois de l'extracteur en fonction de sa forme et de la vitesse du gaz. Afin de découpler les mécanismes électro-hydrodynamiques, le champ électrique est contrôlé en polarisant le plan de décharge, de post décharge ou des deux à la fois. Par la suite, d'autres géométries d'ioniseurs seront testées pour tenter d'augmenter la densité d'ions en post-décharge, le mélange ions/aérosol sera optimisé pour atteindre le courant maximum d'aérosols chargés selon les vitesses des jets d'ions et d'aérosol. La caractérisation dynamique du système permettra de déterminer le temps de réponse afin de s'assurer d'un temps de réponse inférieur à 100 ms.



Sujet de la thèse :

Etude du colmatage des filtres THE plans et à petits plis par des agrégats de nanoparticules simulant un aérosol de combustion.

Doctorant :	BOURROUS Soleiman
Date du début de la thèse :	14/11/2011
Laboratoire :	DSU/SCA/LECEV
Financement de thèse :	IRSN/Camfil SAS
Directeur de thèse :	Thomas Dominique - Université de Nancy
Tuteur de thèse :	Sébastien ARTOUS
Ecole doctorale :	INPLorraine - Ressources, Procédés, Produits et Environnement - ED 410

La contribution des filtres THE au maintien du confinement des radionucléides dans une installation nucléaire est essentielle en assurant le piégeage des aérosols, principales sources de contamination. Afin de prendre en compte les risques d'agressions industrielles lors de situations accidentelles, l'IRSN conduit des études et des recherches afin d'évaluer la tenue des équipements de filtration en cas d'agression et les rejets potentiels susceptibles d'en découler.

A l'heure actuelle, les récents progrès en matière de métrologie des particules associés avec l'acquisition ou le dimensionnement de nouveaux dispositifs expérimentaux ont permis la réalisation d'un programme de recherche approfondie sur le colmatage des filtres par des nanoparticules simulant un aérosol de combustion. L'objectif de la thèse est de réaliser des expérimentations analytiques pour élargir l'application des modèles phénoménologiques de colmatage des filtres, aux cas des nanoparticules qui constituent la composante la plus pénalisante en termes de colmatage. Pour ce faire, diverses conditions de filtration sont étudiées sur des filtres plans et plissés (caractéristiques des filtres industriels), utilisant des aérosols nanométriques de différentes granulométries et morphologies et pour des conditions aérauliques de filtration variables.

Classiquement, on distingue deux phases de filtration pour un medium filtrant : la filtration profonde, durant laquelle la perte de charge croît lentement, puis la formation d'un dépôt en surface du medium conduisant à une augmentation linéaire et rapide de la perte de charge. La plupart des études présentes dans la littérature se concentrent sur l'une ou l'autre de ces phases. Cependant, la caractérisation du colmatage d'un filtre sur toute sa durée d'utilisation impose de comprendre et d'appréhender les mécanismes conduisant à la transition entre les phases de filtration profonde et en surface, ce qui a fait l'objet des travaux réalisés durant cette première année de thèse.

Ces premiers travaux visent à confronter les modèles issus de la littérature aux résultats expérimentaux acquis sur un banc d'essai spécifiquement dimensionné pour la filtration d'aérosols nanométriques. Des techniques d'analyse et d'observation sont utilisées pour comprendre la phénoménologie en vue de proposer des pistes pour l'établissement d'un modèle prédictif de la perte de charge des filtres THE par des aérosols nanométriques jusqu'à la formation du gâteau.



Sujet de la thèse :

Étude de la remise en suspension de particules à l'intérieur d'un local sous l'effet de la marche d'un opérateur.

Doctorant :

Zakaria MANA

Date du début de la thèse :

01/12/2011

Laboratoire :

PSN-RES/SCA/LPMA

Financement de thèse :

IRSN/EDF

Directeur de thèse :

MARC RABAUD - Université Paris Sud

Tuteur de thèse :

Francois GENSDARMES

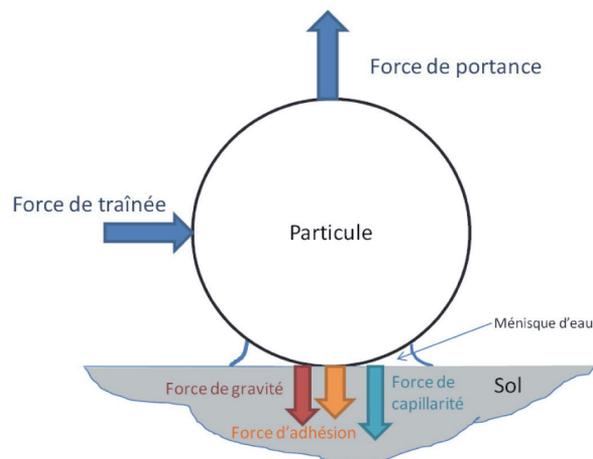
Ecole doctorale :

Université Paris Sud _ MIPEGE

Lors des arrêts de tranche dans une installation nucléaire, l'intervention des différents opérateurs engendre une augmentation de la concentration de particules (diamètre des particules compris entre 1 et 20 μm) augmentant ainsi l'exposition des intervenants. L'objectif de cette thèse est de déterminer le terme source dû à la marche des opérateurs. Une étude bibliographique a été effectuée afin de mieux connaître les mécanismes responsables de la remise en suspension des particules, mais également afin d'identifier un modèle de remise en suspension adaptable au cas des écoulements d'air produits sous une chaussure lors de la marche.

Le travail bibliographique a permis d'identifier le modèle Rock'n'Roll proposé par Reeks et al. (2001) comme étant le modèle le plus adapté. Afin d'utiliser le modèle Rock'n'Roll, il est nécessaire de déterminer à la fois les forces d'adhésion maintenant la particule sur la surface, mais également les forces aérodynamiques engendrées par l'écoulement d'air sous la chaussure. Les expressions théoriques de ces forces montrent que la force responsable de l'adhésion de la particule à la surface est la force de Van der Waals, et que la force responsable de son détachement est la force de traînée (100 fois plus importante que la force de portance).

Ainsi, des mesures AFM (microscopie de force atomique) permettront de mesurer les forces d'adhésion. Concernant les forces aérodynamiques, responsables du détachement des particules, il est nécessaire de déterminer les écoulements auxquels sont soumises les particules. Pour cela, des simulations numériques seront réalisées afin de déterminer les vitesses du fluide sous la chaussure. Ces simulations seront validées par des expériences menées sur une plaque simulant le mouvement de la chaussure sur le sol dans un premier temps, puis par une chaussure réelle dans la configuration de la marche dans un second temps. Ainsi, nous aurons accès à la mesure des deux paramètres d'entrée du modèle que sont les forces d'adhésion et la vitesse de l'air sous la chaussure. Il sera alors possible de comparer les résultats obtenus par le modèle à ceux mesurés expérimentalement.



Sujet de la thèse :

Etude des mécanismes physico-chimiques de mise en suspension de contaminants particuliers lors de la dégradation thermique de matériaux représentatifs des installations nucléaires.

Doctorant :	Simon DELCOUR
Date du début de la thèse :	03/10/2009
Laboratoire :	PSN-RES/SCA/LPMA
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	José-Marie Lopez-Cuesta - Ecole des mines d'Alès
Tuteur de thèse :	François Xavier OUF
Ecole doctorale :	Mines-ParisTech/ ED SFA

L'évaluation des conséquences d'un incendie dans une installation nucléaire de type laboratoire ou usine, et de l'éventuelle dispersion des matières radioactives qui peut en résulter, constitue un enjeu majeur pour l'IRSN. Le cas des feux de boîtes à gants présente un intérêt tout particulier de par leur fabrication en matériaux polymères combustibles (polyméthacrylate de méthyle - PMMA - et polycarbonate) et la contamination résiduelle en particules radioactives qu'elles contiennent (Oxydes d'Uranium et de Plutonium, majoritairement).

Plusieurs études macroscopiques, à petite et à grande échelle, ont été réalisées pour évaluer les fractions de contaminants mises en suspension. Ces études ont permis d'identifier des ordres de grandeur des fractions remises en suspension, mais aucune étude phénoménologique n'a été menée sur cette thématique. Le seul phénomène clairement identifié dans cette problématique est le « flash d'émission » observé par tous les auteurs pour le PMMA. Ce phénomène a toujours été relié au comportement bullant du PMMA, mais, jusqu'à présent, aucun modèle prédictif de mise en suspension de particules lors de l'éclatement des bulles n'a été proposé.

Cette communication présente une première analyse dont l'objectif est d'identifier précisément les phénomènes mis en jeu au niveau d'une interface polymère - air, contaminée par des particules solides et soumise à un stress thermique induisant un écoulement de convection. Les phénomènes retenus sont le comportement au feu du polymère (bullage, intumescence), l'entraînement aérodynamique et le piégeage des particules dans la masse de matière fluidifiée par le flux de chaleur. Des questions liées aux éventuelles interactions entre les particules contaminantes, l'aérosol de combustion et le polymère en cours de dégradation seront également à investiguer.

Les résultats des précédentes études sur cette thématique sont résumés et une nouvelle corrélation donnant la durée du flash d'émission est présentée. Des résultats préliminaires de tomographie synchrotron concernant la microstructure de la couche de bulles sont présentés, ainsi que des observations des types d'interactions existant entre les bulles et la surface libre du polymère. En parallèle, les caractéristiques des particules à simuler sont également présentées, ainsi que les développements expérimentaux et les orientations futures.

Sujet de la thèse :

Caractérisation et impact des particules incandescentes dans les réseaux de ventilation.

Doctorant :	MARCHAL Pierre
Date du début de la thèse :	03/10/2011
Laboratoire :	PSN-RES/SCA/LECEV
Financement de thèse :	IRSN / EDF
Directeur de thèse :	GREHAN Gérard / Université de Rouen (CORIA)
Tuteur de thèse :	Emmanuel PORCHERON
Ecole doctorale :	INSA Rouen - SPMII - ED 351

La mise en œuvre de procédés mécaniques ou thermiques de type découpe ou abrasion dans des chantiers d'assainissement ou de démantèlement d'installations nucléaires génère une production de particules métalliques incandescentes. Ces particules peuvent être entraînées dans les réseaux de ventilation et conduire à une perforation, voire à une inflammation du premier niveau de filtration, ce qui constitue un risque de dégradation des barrières de confinement avec potentiellement un risque de départ d'incendie.

Ainsi, l'IRSN a lancé en partenariat avec EDF/CIDEN un programme de recherche dont l'objectif est de déterminer les situations qui représentent un risque d'agression du dispositif de filtration.

L'objectif de cette étude est de déterminer les caractéristiques à la source (température de surface, diamètre, morphologie et vitesse) des particules incandescentes produites par une disqueuse, ainsi que l'évolution de ces caractéristiques pendant le temps de vol des particules jusqu'à leur impact sur le médium filtrant. La mise en corrélation de ces données avec le niveau d'endommagement du médium filtrant doit permettre de mieux identifier les situations qui représentent un risque d'agression du dispositif de filtration et d'en déduire l'impact sur le maintien de l'intégrité du confinement des installations.

Les développements métrologiques entrepris pour caractériser les particules incandescentes sont présentés. Il s'agit de mesurer la granulométrie des particules émises en utilisant un granulomètre de type APS et un impacteur d'Andersen.

L'évolution de la vitesse des particules ainsi que leur trajectoire sont déterminées à l'aide de diagnostics optiques PIV / PTV.

La technique envisagée pour mesurer la température des particules en vol est la pyrométrie. L'adaptation de cette technique à nos conditions expérimentales nécessite de connaître précisément la gamme de taille des particules produites, la gamme de température attendue et la variation d'émissivité des particules métalliques induite par leur oxydation au cours de la phase de refroidissement.

Un banc expérimental reproduisant un sas de démantèlement est mis en œuvre, dans lequel sont implantés le terme source (une disqueuse) et un filtre test raccordé à une gaine de ventilation. Ce banc permet d'étudier différentes configurations possibles (distance filtre-disqueuse, présence de singularités dans le circuit de ventilation).



Sujet de la thèse :

Méthodes de validation de systèmes d'aide à la décision en contexte incertain, évaluation du risque lié à une activité nucléaire.

Doctorant :	Guillaume DUPOUY
Date du début de la thèse :	10/10/2011
Laboratoire :	LSTI/FAYOL/DEMO et PSN-RES/ SA2I/LIE
Financement de thèse :	ENSM-SE/IRSN
Directeur de thèse :	Mireille Batton-Hubert (ENSM-SE)
Tuteur de thèse :	Eric Chojnacki et Jean-Marc Tacnet (IRSTEA)
Ecole doctorale :	Université de Lyon/Ecole Doctorale SIS

On sait l'importance de la fiabilité d'un processus de décision, particulièrement dans les domaines à risque, soumis à des incertitudes d'ordre aléatoire (variabilité naturelle) ou épistémique (imprécision ou méconnaissance), comme l'activité nucléaire ou le risque environnemental. Or on constate, pour un même système d'aide à la décision théoriquement validé (système expert, analyse d'incertitude sur un modèle de simulation, l'analyse multicritère - AMC -, ...), une hétérogénéité de résultats obtenus par différents utilisateurs.

L'objectif de la thèse est de définir des méthodes de validation opérationnelle, qui incluent la validation du modèle lui-même et la validation des hypothèses utilisateur. Deux processus de décision liés au risque d'incendie en milieu confiné (IRSN) d'une part, et au risque torrentiel (IRSTEA) d'autre part, serviront de cas d'application.

Pour appréhender les systèmes d'aide à la décision, on se restreint dans un premier temps aux analyses d'incertitude et méthodes AMC. Durant l'année, j'ai mené une étude bibliographique sur les formalismes de représentation et de propagation de l'incertitude (théories des probabilités, des possibilités et des fonctions de croyance ; propagation Monte Carlo et Hybride). Le domaine de l'AMC a été étudié.

Les premiers résultats portent sur la validation de choix de modélisations des variables d'entrée X_i d'un modèle de simulation, dans le cadre d'une analyse d'incertitude (Monte Carlo ou Hybride). Une méthode de validation de type AMC est privilégiée, afin d'identifier une classe de modélisations « optimales » (au sens de Pareto et de la dominance) au regard de critères de fidélité à l'information disponible, de **calibration** à des valeurs de références et d'**informativité** de la modélisation.

L'informativité et la calibration ont été partiellement formalisées mathématiquement et implémentées, la difficulté résidant dans la construction d'un référent commun pour comparer des choix de modélisation issus de différents cadres formels (possibilités, probabilités, fonction de croyance).



Sujet de la thèse :

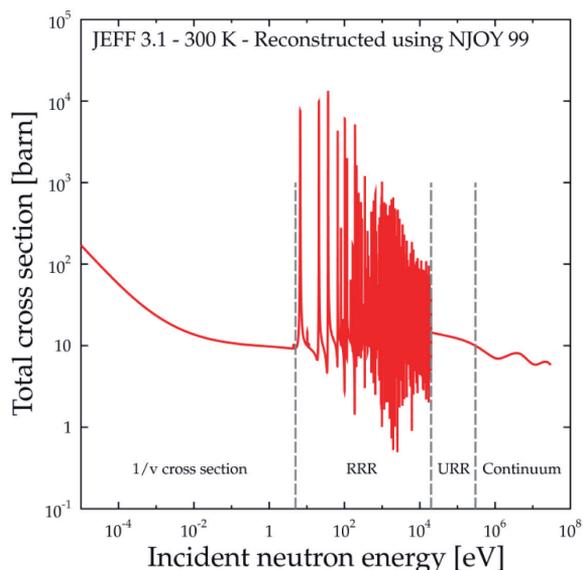
Méthodes avancées pour le traitement des données nucléaires

Doctorant :	FERRAN Ghislain
Date du début de la thèse :	01/10/2011
Laboratoire :	PSN-EXP/SNC/LNR
Financement de thèse :	Corps des Ponts, Eaux et Forêts
Directeur de thèse :	Michel Gonin (Polytechnique, LLR)
Tuteur IRSN :	Wim Haeck
Ecole doctorale :	Ecole Doctorale de l'Ecole Polytechnique

Les données nucléaires dont il est question ici sont les sections efficaces, qui représentent la probabilité qu'une réaction nucléaire donnée ait lieu entre un neutron incident et un noyau cible. Ces sections efficaces sont au cœur des calculs de neutronique, et donc de la démarche de sûreté.

Les données nucléaires sont fournies sous la forme de fichiers évalués (au format ENDF) qui nécessitent un traitement avant de pouvoir être utilisées par les codes de calcul. Ce traitement comprend notamment la reconstruction des résonances des sections efficaces, la prise en compte de l'effet Doppler (dû au mouvement du noyau cible) et la linéarisation des sections reconstruites (qui sont fonctions de l'énergie du neutron incident).

Des codes spécifiques ont été écrits pour effectuer ce traitement, par exemple NJOY et PREPRO. Ils ont l'inconvénient d'utiliser des méthodes numériques un peu datées, et d'être très dépendants du format ENDF qui ne correspond plus aux besoins modernes en matière de précision. De plus, ces deux codes sont américains, et il peut être difficile d'avoir accès aux dernières versions ou de les modifier pour un usage spécifique. C'est pourquoi l'IRSN veut se doter de son propre code de traitement des données nucléaires, appelé GAIA. Mes travaux de thèse sont réalisés dans ce cadre.



La première étape a été la reconstruction des sections efficaces dans le domaine des résonances, qui correspond à la forêt de pics dans le schéma ci-dessous. Dans ce domaine, les fichiers de données nucléaires contiennent des paramètres qui permettent de déduire la forme de chaque résonance en appliquant une formule adaptée. Les différentes formules utilisées sont divers niveaux d'approximation d'un cadre théorique général appelé « théorie des matrices R ». La reconstruction des résonances est maintenant terminée, et nous sommes capables d'utiliser toutes les approximations mais aussi la formule générale, ce que ni NJOY ni PREPRO ne font actuellement. Les résultats obtenus sont des sections efficaces en un point d'énergie

donné et correspondant à un noyau fixe. Ils ont été testés en les comparant aux codes NJOY et PREPRO (pour les diverses approximations) et montrent un bon accord.

La suite du travail de thèse sera la prise en compte de l'effet Doppler sur les sections efficaces reconstruites. L'objectif sera d'améliorer la précision des codes existants par une approche originale des méthodes numériques utilisées.

Sujet de la thèse :

Comportement des radio-contaminants dans le ciel de pile et l'enceinte de confinement d'un RNR en situation accidentelle.

Doctorant :

MATHE Emmanuel

Date du début de la thèse :

11/10/2011

Laboratoire :

PSN/SAG/LETR et laboratoire commun PC2A

Financement de thèse :

cofinancement AREVA

Directeur de thèse :

PETITPREZ Denis /Université de Lille I

Tuteur de thèse :

Martin Kissane

Ecole doctorale :

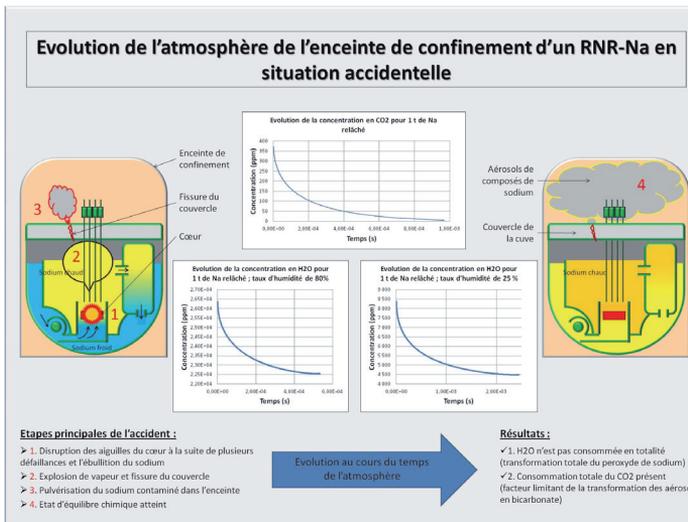
Université Lille1 / Sciences de la Matière du Rayonnement et de l'Environnement SMRE - ED104

Dans le cadre de l'initiative internationale « Generation IV », le réacteur nucléaire à neutrons rapides refroidi au sodium (RNR-Na) est de nouveau étudié en France et ailleurs afin de répondre au mieux aux besoins de production d'énergie électrique à grande échelle et à long terme. Parmi les enjeux, il est nécessaire de réétudier la sûreté de cette technologie et d'estimer les conséquences d'un accident grave. Le RNR-Na nécessite une grande quantité de sodium pour transporter la chaleur générée par le cœur d'où un aspect critique de l'évaluation d'un accident qui concerne les conséquences d'un rejet important du sodium dans l'enceinte de confinement. L'un des scénarii les plus éprouvants implique un jet de sodium (métal pyrophorique s'oxydant et s'enflammant rapidement) produisant une importante quantité d'aérosols d'oxyde de sodium.

Au-delà des conséquences de pression et de température élevées dans l'enceinte, il est important d'analyser l'évolution physico-chimique des aérosols produits pour connaître la toxicité qui y règne car ceux-ci réagissent avec l'humidité et le CO₂ ambiants. De plus, en cas de fusion du cœur, cette analyse est un pas incontournable en vue de l'analyse du terme source où l'évolution des aérosols influe sur le transfert de radio-contaminants relâchés avec le sodium: le développement d'une modélisation crédible de l'évolution physico-chimique des aérosols, jusque-là très peu étudiée analytiquement, est indispensable.

Le modèle de particule de Cooper (1980) s'avère être le plus abouti de la littérature en prenant compte la formation de différentes couches surfaciques d'hydroxyde et de carbonates s'appuyant sur un modèle analytique du coefficient de diffusion des gaz à travers ces couches. Cependant, ce modèle n'a jamais été validé et d'autres expériences remettent en question les valeurs des coefficients proposées. Dans ce travail, des améliorations ont été

apportées à ce modèle notamment en intégrant un modèle de concentration des gaz réagissant et en le confrontant avec des données expérimentales. Néanmoins, davantage de données sont nécessaires pour confirmer ou affiner les valeurs des paramètres du modèle. Dans cette optique, une série d'expériences est proposée comprenant la réalisation d'échantillons d'oxyde et d'hydroxyde de sodium et leur mise en contact avec différents atmosphères.



Sujet de la thèse :

Étude des déformations différées des bétons en compression et en traction, du jeune au long terme. Application aux enceintes de confinement.

Doctorant :

Adrien HILAIRE

Date du début de la thèse :

01/10/2011

Laboratoire :

PSN-EXP/SES/BAGCS

Financement de thèse :

Collaboration IRSN-ENS Cachan

Directeur de thèse :

Yves Berthaud - ENS Cachan

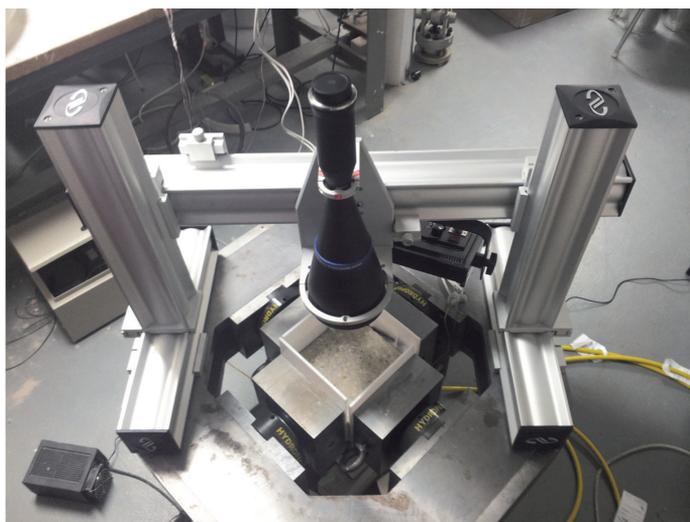
Tuteur de thèse :

Georges Nahas

Ecole doctorale :

ENS Cachan - Sciences pratiques

A l'heure actuelle où l'allongement de la durée de vie des réacteurs joue un rôle majeur vis-à-vis des besoins énergétiques de la société, il est indispensable de pouvoir prédire correctement l'évolution des contraintes au sein des enceintes de confinement des réacteurs de centrales nucléaires dont l'étanchéité assure une dernière barrière de sécurité. Au jeune âge, des contraintes sont générées lors des reprises de bétonnage entre différentes levées. Ainsi, une fissuration perpendiculaire peut apparaître et constituer une zone initiale de faiblesse. Une fois la phase de jeune âge passée, la mise en précontrainte et les épreuves décennales des enceintes provoquent également l'apparition de zones mises en traction. L'évolution de ces zones à long terme, en fonction du fluage du béton, pourrait réduire la capacité de confinement de l'enceinte. Des travaux existants montrent que les complaisances de fluage en traction et en compression sont différentes. Par conséquent, les modèles de fluage existants doivent être modifiés pour tenir compte de ces résultats expérimentaux.



Afin de simuler correctement l'état de contraintes dans une enceinte de confinement, une campagne expérimentale d'envergure a été engagée au cours de ma première année de thèse. L'état de contraintes multiaxiales est étudié en effectuant des essais de fluage biaxiaux (cf figure 1). L'évolution du champ de déformation est mesuré grâce à la corrélation d'images et à des capteurs à corde vibrante. Des essais préliminaires ont été menés afin de valider le dispositif, au cours des-

quels on s'est notamment assuré de l'uniformité du champ de contraintes dans la zone de mesure. Parallèlement, un modèle a été développé et implanté sur CAST3M. Ce modèle introduit une dissymétrie au niveau du fluage de comportement suivant le mode de sollicitation (traction ou compression). Finalement, le comportement au jeune âge d'une structure coulée en plusieurs levées a été simulée en 2D, les résultats obtenus rendent compte de la nécessité de prendre en compte cette dissymétrie de comportement.

Durant ma seconde année de thèse, les efforts engagés sur le plan expérimental et numérique seront poursuivis. Des essais de fluage en bi-compression seront réalisés et un second bâti de fluage multiaxial sera fabriqué. Quant à la modélisation, elle sera enrichie afin de pouvoir simuler l'évolution du comportement d'une enceinte de confinement du jeune âge au long terme.

Sujet de la thèse :

Détection des failles et des zones de fracturation dans les calcaires supérieurs et les argilites de la station expérimentale de Tournemire par combinaison d'imagerie sismique Très Haute Résolution et de résistivité électrique.

Doctorant :

Elise VI NHU BA

Date du début de la thèse :

01/10/2011

Laboratoire :

PRP-DGE/SCAN/BERSSIN

Financement de thèse :

ARMINES

Directeur de thèse :

Mark Noble - Ecole des Mines

Tuteur de thèse :

Céline Gelis

Ecole doctorale :

MinesParisTech/Géosciences et Ressources Naturelles

Les travaux de recherche de cette thèse s'inscrivent dans le cadre général de l'expertise des projets de stockage de déchets radioactifs en couche argileuse. En effet la très faible teneur en eau et la petite taille des pores des roches argileuses indurées en font des roches très peu perméables où les circulations d'eau sont extrêmement faibles. Cependant la présence de failles peut modifier ces propriétés ; la détection des failles constitue donc un enjeu majeur. Les méthodes géophysiques permettent de déterminer les propriétés du milieu ausculté de manière non destructive et présentent ainsi un potentiel intéressant pour détecter des failles dans le milieu argileux.

En appui à l'expertise du projet de stockage mené par l'ANDRA, l'IRSN mène des travaux de recherche dans la station expérimentale de Tournemire où des failles à faible décalage vertical sont interceptées dans le milieu argileux depuis les ouvrages souterrains. Les travaux précédents ont montré la difficulté de détecter ces failles depuis la surface avec la sismique réflexion. Cette thèse vise à traiter des données sismiques et électriques acquises depuis la surface et dans les ouvrages souterrains puis de les combiner dans le but d'évaluer leur capacité à détecter les zones de faille et de fracturation du site dans les argilites et les calcaires supérieurs.

La première partie de la thèse consiste à réaliser un code de tomographie 3D permettant d'obtenir un modèle de vitesse des ondes P. Le développement d'un tel code permet d'avoir une totale compréhension des résultats obtenus, notamment sur la résolution et la pertinence de l'image ainsi que sur les limites de la méthode et conduit à une interprétation avisée.

Dans le but de mieux comprendre et d'améliorer la qualité de l'imagerie nous quantifierons ensuite l'incertitude sur les modèles de vitesse obtenus. Un autre point important sera l'introduction de l'information a priori dans l'algorithme pour prendre en compte les informations géologiques observées et/ou celles obtenues par d'autres méthodes comme la résistivité électrique.

Sujet de la thèse :

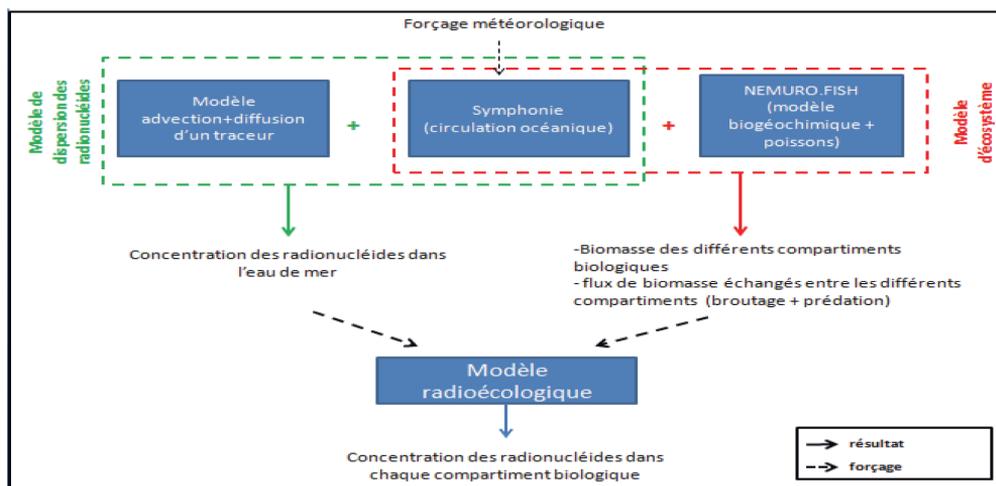
Modélisation numérique de la dispersion en mer des radionucléides rejetés lors de l'accident de la centrale de Fukushima et transfert au milieu biologique.

Doctorant : Mokrane BELHARET
Date du début de la thèse : 02/04/2012
Laboratoire : PRP - ENV /SESURE /LERCM
Financement de thèse : IRSN
Directeur de thèse : Claude ESTOURNEL - Observatoire Midi-Pyrénées
Tuteur de thèse : Sabine CHARMASSON
Ecole doctorale : Université Toulouse3 (UPS) / école doctorale SDU2E

Une forte contamination radioactive du milieu marin s'est produite après l'accident survenu dans la centrale nucléaire de Fukushima Dai-ichi le 11 mars 2011. Cet accident nucléaire, considéré comme le premier à avoir un impact direct sur le milieu marin, a suscité chez les scientifiques et les radioécologistes marins, de nombreuses interrogations, notamment à l'égard du devenir des radionucléides après leur dispersion, ainsi que de la contamination des organismes marins comestibles tels que les poissons et certains crustacés et mollusques, qui présente une menace directe pour la santé publique des consommateurs et celle des écosystèmes. Dans ce contexte, la prédiction des degrés de contamination de la chaîne trophique, suggère le développement d'une plate-forme de modélisation numérique visant d'abord à reconstituer la biocénose en place, puis à suivre son évolution et sa dynamique au sein d'un environnement contaminé par des radionucléides. Pour cela il est nécessaire de coupler 4 modèles différents : un modèle hydrodynamique, un modèle biogéochimique, un modèle de la dynamique des communautés de poissons, et un modèle radioécologique du passage des radionucléides vers la chaîne trophique. Cette méthodologie permettra d'estimer les degrés de contamination des organismes marins en parallèle avec leur dynamique et leur évolution spatio-temporelle.

La première partie du travail est consacrée alors à la validation du modèle écosystémique. Pour cela, le modèle biogéochimique NEMURO (North Pacific Ecosystem for Understanding Regional Oceanography) a été couplé avec le modèle hydrodynamique SYMPHONIE, et une validation sur une dimension verticale (1D) au niveau de la station KNOT (44°N, 155°E) vient d'être finalisée. La prochaine étape sera donc de valider ce modèle sur un système tridimensionnel qui couvre toute notre zone d'étude, puis de le compléter en lui intégrant un modèle de croissance de poissons (NEMURO.FISH).

La deuxième partie sera consacrée à l'implémentation d'un modèle radioécologique qui sera basé sur les résultats du modèle de l'écosystème et celui de la dispersion des radionucléides dans la colonne d'eau.





Sujet de la thèse :

Compréhension et analyse des processus hydrosédimentaires dans la Baie de Toulon. Apport à la modélisation de la dispersion des radionucléides.

Doctorant :	Christiane DUFRESNE
Date du début de la thèse :	02/11/2011
Laboratoire :	PRP-ENV/SESURE/LERCM
Financement de thèse :	cofinancement IRSN/région PACA
Directeur de thèse :	Vincent Rey (Université Sud-Toulon-Var)
Tuteur de thèse :	Céline Duffa
Ecole doctorale :	Sciences fondamentales et appliquées (#364)

Afin d'étudier les conséquences sur l'environnement marin d'un éventuel rejet radioactif accidentel, l'antenne de La Seyne/Mer du Laboratoire d'études radioécologiques en milieu continental et marin (LERCM) développe un outil de simulation de dispersion des radionucléides dans la Rade de Toulon. La mise en place de ce modèle nécessite cependant une meilleure connaissance des processus hydrosédimentaires. En effet, outre leur décroissance radioactive, le devenir des radionucléides en milieu marin est conditionné par les processus hydrodynamiques (courants, vagues) et sédimentaires (érosion, dépôt, transport). De plus, les apports des fleuves côtiers chargés en matière en suspension se jetant dans la Rade doivent être pris en compte dans le modèle.

Cette étude se divise selon deux axes principaux.

D'abord, les apports des bassins versants doivent être étudiés. Les débits de ces fleuves côtiers et leur charge de matière en suspension sont en effet très dépendants de la pluviométrie. Les régimes d'étiage et de crues seront étudiés afin d'estimer les apports dans chaque cas. La mise en place d'instruments de mesure (piège à sédiments, sonde multiparamètres, prélèvements) permettra de quantifier et qualifier les apports liquides et solides des deux principaux cours d'eau. Ceux-ci seront ensuite utilisés comme données d'entrées du modèle hydrosédimentaire.

Dans un second temps, l'ensemble des processus physiques intéressant les matières en suspension dans la Baie de Toulon devra être inventorié et les paramètres clé régissant ces processus seront évalués. Le module sédimentaire mis en place lors de la première année de cette thèse doit être calibré et validé. La prise en compte de l'ensemble des apports et processus ainsi que la paramétrisation du module sédimentaire seront réalisés en parallèle afin de les valider par des comparaisons modèle-mesures. Des mesures en mer (turbidité, salinité, courant, etc.) seront donc également effectuées afin de valider les simulations.



Sujet de la thèse :

Etude de la toxicité et de l'efficacité *in vivo* de formes galéniques de calixarène développées pour le traitement des contaminations cutanées dues à des composés d'uranium.

Docteurant :

Sophie GRIVES

Date du début de la thèse :

19/03/2012

Laboratoire :

UMR CNRS 8612 - IRSN PRP-Hom/SDI/LRC

Financement de thèse :

DGA-IRSN

Directeur de thèse :

Elias FATTAL - Université Paris Sud Orsay

Tuteur de thèse :

Guillaume PHAN

Ecole doctorale :

Université Paris-Sud 11 / ED 425 : « Innovation thérapeutique : du fondamental à l'appliqué »

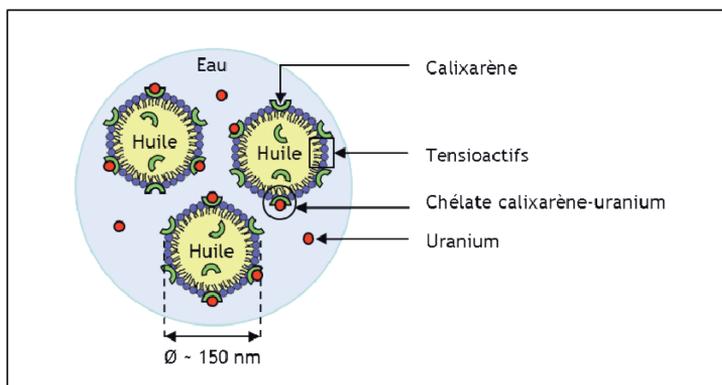
En cas de contamination radiologique cutanée par des composés d'uranium, les seuls traitements actuellement employés consistent en un rinçage de la zone cutanée contaminée par de l'eau et des détergents ou l'administration de décontaminants peu efficaces et non spécifiques vis-à-vis de l'uranium. De plus, ce mode de contamination peut survenir sur des zones difficiles à traiter telles que des plaies.

C'est dans ce contexte qu'un programme de recherche a démarré par la thèse d'Aurélien Spagnol, et a abouti au développement d'une nanoémulsion fluide de type huile dans eau, dans laquelle sont incorporées des molécules de calixarène, un agent chélatant sélectif de l'uranium. Ces molécules, localisées à l'interface huile/eau, sont disponibles pour la chélation. L'extraction des ions uranyle à partir d'une solution aqueuse par la nanoémulsion est rapide et efficace (plus de 85% en moins de 5 min). Elle permet également de réduire de plus de 94 et 98% la diffusion de composés solubles d'uranium déposés, en cellule de diffusion de Franz, respectivement sur des explants de peau de porc saine ou lésée par excoriation.

De premières études d'optimisation de la nanoémulsion ont ensuite été menées au cours du post-doctorat de Corinne Belhomme-Henry, afin de modifier sa texture par ajout d'agents gélifiants et la rendre plus adaptée au traitement des plaies contaminées.

La première phase du projet de thèse actuel consiste à poursuivre ces études d'optimisation, et à évaluer l'efficacité *in vitro* et *in vivo* des nouveaux systèmes développés. Dans ce sens, des films de gélatine incorporant la nanoémulsion ont été formulés. Cependant, les premiers résultats obtenus pour ces films ne présentent pas d'efficacité supérieure à la nanoémulsion seule.

La suite du projet consisterait à vérifier l'innocuité des formulations d'intérêt développées et la tolérance locale de ces produits, en utilisant un modèle d'épiderme humain reconstitué.



Représentation schématique de l'extraction, par la nanoémulsion de calixarène, des ions uranyle depuis une solution aqueuse contaminée par de l'uranium.

Enfin, des études *in vivo* chez le rat sont prévues afin de tester l'efficacité de décontamination des différentes formulations, administrées sur des peaux saines ou présentant des plaies, et contaminées par des composés d'uranium. A cette fin, des protocoles d'études ont été soumis à un comité d'éthique, présentant des modèles de blessures innovants et reproductibles.

Sujet de la thèse :

Effets d'une contamination chronique à faible dose par le césium 137 sur la progression de la pathologie athéromateuse.

Doctorant :

Clélia LE GALLIC

Date du début de la thèse :

07/11/2011

Laboratoire :

PRP-HOM/SRBR/LRTOX

Financement de thèse :

EDF

Directeur de thèse :

Stéphanie LEHOUX - Jewish General Hospital Montréal

Tutrice :

Téni EBRAHIMIAN

Ecole doctorale : Université Paris Sud - Ecole Doctorale 425 - Innovation thérapeutique, du fondamental à l'appliqué

Si les effets vasculaires suite à une irradiation à forte dose sont bien établis, les effets des faibles doses sur le système cardiovasculaire restent débattus. En effet, les pathologies cardiovasculaires sont multifactorielles et à de faibles niveaux de dose, il est difficile d'individualiser le risque lié aux radiations des autres facteurs de risque. Il est nécessaire de poursuivre les recherches dans ce domaine afin d'identifier les mécanismes physiopathologiques impliqués.

L'objectif de cette thèse est de déterminer les effets d'une exposition au Césium 137 (^{137}Cs) à long terme et à faible dose sur une éventuelle progression ou potentialisation de la pathologie athéromateuse, qui est la 1ère cause de mortalité-morbidité dans les pays industrialisés.



Le modèle « *in vivo* » consistera à contaminer -via l'eau de boisson- différents modèles de souris (« sain », « sensible » et « prédisposé ») au ^{137}Cs , aux concentrations de 4, 20 ou 100 KBq/L, pendant 3, 6 ou 9 mois. Nous étudierons ainsi les étapes de progression de la pathologie athéromateuse.

Le modèle « *in vitro* » permettra d'étudier les mécanismes impliqués au niveau des cellules endothéliales issues de cordon ombilical humain (cellules HUVEC) suivant une contamination au ^{137}Cs .

Au cours de cette première année, nous avons principalement investigué les effets d'une

contamination au ^{137}Cs sur les étapes précoces de la pathologie sur les modèles « sain » et « prédisposé ».

Les résultats montrent des effets variables selon la concentration de ^{137}Cs . A de très faibles concentrations, les effets observés chez les animaux « sains » ou « prédisposés » sont plutôt anti-inflammatoires. Par contre, à des concentrations plus élevées, on observe chez les animaux « prédisposés » une augmentation systémique et tissulaire de l'expression de VCAM1, molécule fortement impliquée dans les étapes précoces de la pathologie. Cette augmentation est associée à un épaissement de l'intima qui est un indicateur d'un début de réaction inflammatoire.

Cependant, les effets observés à ce temps peuvent être transitoires et ne pas porter à conséquences sur le développement de la pathologie à long terme.

Les études sur les étapes plus avancées de la pathologie sont actuellement en cours afin de déterminer principalement le nombre, la taille et le phénotype des plaques d'athérome.

Sujet de la thèse :

Analyse de la relation dose-réponse aux faibles doses et faibles débits de dose pour les risques de mortalité par cancer et maladie cardiovasculaire chez les mineurs d'uranium.

Docteurant :	Damien DRUBAY
Date du début de la thèse :	03/10/2011
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LEPID
Financement de thèse :	AREVA/IRSN
Directeur de thèse :	Dominique LAURIER
Tuteur de thèse :	Estelle RAGE
Ecole doctorale :	Université Paris Sud XI, Paris Descartes / ED420 : Ecole doctorale de santé publique

Introduction : Un excès significatif de mortalité par cancer du rein a été observé chez les mineurs d'uranium français, exposés chroniquement aux rayonnements ionisants (RI), cependant cet excès n'était pas associé à l'exposition au radon. Cette hypothèse est testée dans la cohorte allemande de la Wismut, de taille dix fois supérieure à la cohorte française.

Méthode : Cette cohorte comprend 58986 mineurs d'uranium, suivis entre 1946-2003. 152 décès par cancer du rein ont été dénombrés. Le risque de mortalité par cancer du rein attribuable à l'exposition aux RI est évalué à l'aide du modèle de Cox considérant l'âge atteint comme échelle de temps, ajusté sur l'âge à la première exposition, le temps total d'exposition et stratifié sur le type d'activité physique, le type de travail et la période de naissance. Afin de prendre en compte la période de latence entre l'exposition et le décès par cancer, les analyses ont été réalisées avec des variables retardées de 0, 5, 10, 15 et 20 ans.

Résultats : Le temps de suivi moyen était de 33,81 années, pour un total de 1994420 personne-années. L'âge moyen était de 44,33 ans et les expositions cumulées moyennes au radon, aux rayonnements gamma, aux radionucléides à vie longue étaient respectivement de 241,21 WLM (Working Level Month), de 40,86 mSv, de 3,53 kBq.h.m⁻³. La dose à l'organe correspondante était de 7,65 mGy pour le rayonnement alpha et de 45,19 mGy pour le rayonnement gamma. Contrairement aux résultats obtenus au sein de la cohorte française, aucun excès de mortalité n'a pu être mis en évidence (SMR = 1,00 [0,83;1,17], p=0,93). Aucune augmentation significative du risque de cancer du rein avec chacune des expositions cumulées ou avec la dose à l'organe n'a pu être mise en évidence, même après ajustement.

Discussion : Les premières analyses ne révèlent pas de lien significatif entre le risque de cancer du rein et l'exposition aux RI. La comparaison avec la cohorte française et la prise en compte de risques compétitifs permettront de confirmer ces résultats.

Mots-clés : mineurs d'uranium, cancer du rein, rayonnements ionisants

Sujet de la thèse :

Etude des effets chroniques des rayonnements ionisants chez un organisme modèle, *Caenorhabditis elegans* : du moléculaire à la dynamique des populations, via le développement d'un modèle bioénergétique.

Docteurant : Adeline BUISSET - GOUSSEN
Date du début de la thèse : 02/11/2011
Laboratoire : PRP-ENV/SERIS/LECO
Financement de thèse : Région PACA
Directeur de thèse : Jean-Christophe POGGIALE, Université Aix-Marseille
Tuteur de thèse : Catherine LECOMTE
Ecole doctorale : Université Aix-Marseille/ED 251

L'émission des rayonnements ionisants dans l'environnement est un phénomène naturel et ubiquiste auquel s'ajoute une radioactivité artificielle générée par les activités humaines (fonctionnement des installations du cycle du combustible, rejets issus des activités industrielles et de la médecine nucléaire, accidents nucléaires). Or, l'évaluation du risque environnemental associé à l'exposition chronique aux rayonnements ionisants se heurte actuellement à un manque de connaissances, et repose souvent sur l'extrapolation des données d'effet obtenues pour des expositions aiguës. Cette extrapolation ne reflète cependant pas la réalité. En effet, les mécanismes biologiques mis en jeu peuvent être différents suivant les débits de dose, la durée d'exposition et les stades de vie concernés.

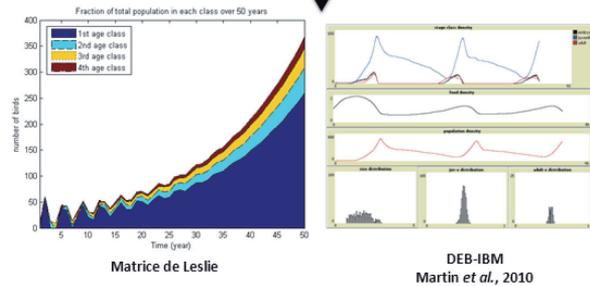
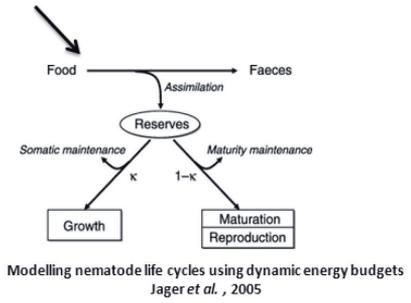
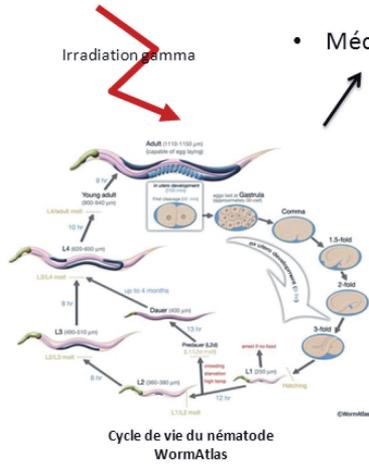
Dans ce contexte, les objectifs de la thèse sont :

- 1) De caractériser expérimentalement les effets d'une irradiation chronique sur le nématode *Caenorhabditis elegans*.
Plus particulièrement, cette partie a pour but de caractériser les variations des traits d'histoire de vie de l'organisme (croissance, reproduction, longévité...) dues à l'exposition chronique aux rayonnements gamma.
- 2) D'intégrer les données obtenues dans un modèle mathématique pour interpréter les modes d'action d'une irradiation chronique
Le modèle mathématique du Dynamic Energy Budget (DEB) basé sur l'allocation de l'énergie à différents processus (reproduction, croissance, maintenance) sera utilisé pour analyser les données obtenues expérimentalement. Il permettra d'identifier les modes d'action possible d'une irradiation chronique. Dès que le ou les processus impactés auront été identifiés, les mécanismes cellulaires sous-jacents pourront être ciblés. Ces données pourront également être intégrées dans le modèle bioénergétique.
- 3) De modéliser les conséquences possibles sur les populations irradiées
A terme, les données issues du modèle bioénergétique seront intégrées dans un modèle de dynamique de population (matrices de Leslie, DEB-IBM).

Une première expérience réalisée au sein du laboratoire d'écotoxicologie des radionucléides (LECO) de Cadarache a couvert une large gamme de débits de dose (20 débits de doses compris entre 0,3 et 1000 mGy/j). L'objectif est d'obtenir une courbe dose-réponse sur la croissance et la reproduction du nématode. Ces données seront prochainement intégrées dans un modèle DEBtox (modèle DEB simplifié qui s'intéresse à la toxicité de polluants). Les résultats sont actuellement en cours d'analyse.

.../...

- Croissance
- Reproduction
- Durée de vie
- Mécanismes moléculaires/cellulaires



Stratégie générale du travail de thèse

Sujet de la thèse :

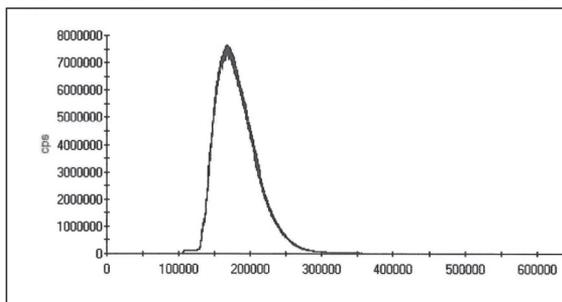
Analyse des actinides dans les fluides corporels par couplage entre des colonnes calix[6]arènes et la spectrométrie de masse à plasma inductif.

Docteurant : BAGHDADI Sarah
Date du début de la thèse : 09/03/2012
Laboratoire : PRP-HOM/SDI/LRC
Financement de thèse : IRSN/DGA
Directeur de thèse : Gérard COTE - Ecole supérieure de chimie de Paris
Tuteur de la thèse : Céline BOUVIER-CAPELY
Ecole doctorale : Université Paris-Sud 11/ ED 534 MIPEGE

Les actinides sont des radioéléments que l'on retrouve à tous les niveaux de l'industrie nucléaire. En amont du cycle du combustible, l'uranium est le principal élément présent sous différentes formes chimiques, tandis qu'en aval, viennent s'ajouter des produits d'activation et de fission dont le plutonium et l'américium. L'uranium et le plutonium sont aussi les principaux composants des armes nucléaires. En cas d'attaque terroriste ou d'accident nucléaire, il est impératif de pouvoir déterminer le plus rapidement possible quelles personnes ont été contaminées et dans quelles proportions. Les personnes ou les populations potentiellement exposées sont soumises à des prélèvements urinaires. Or, les méthodes de spectrométries usuelles nécessitent un traitement chimique fastidieux de la matrice ainsi que plusieurs jours de comptage inadaptes à ces situations d'urgence.

Le présent sujet de thèse vise donc à développer une méthode rapide (1 jour) d'analyse des actinides dans l'urine reposant sur un couplage entre des colonnes chromatographiques à base de calix[6]arènes fonctionnalisés et immobilisés sur une résine poreuse et un spectromètre de masse à plasma inductif (ICP-MS).

Une première étape du travail a été d'optimiser le protocole de minéralisation (Stage de licence professionnelle d'Aurélié Sylvain), en remplaçant la calcination au four par une minéralisation sous micro-ondes qui a permis de réduire de 14h à environ 2h la durée de cette étape. Parallèlement, des essais de remplissage de colonnes ajustables de chromatographie ainsi que de couplage manuel de ces colonnes à l'ICP-MS ont été effectués, permettant de valider la stratégie de couplage envisagée. En particulier, le pic d'éluion de l'uranium fixé sur la colonne a pu être observé que ce soit en utilisant des urines synthétiques ou réelles minéralisées. La durée de vie des colonnes a aussi été étudiée sous l'angle de la déformulation de la résine calix[6]arène par perte du solvant d'imprégnation, au contact des phases aqueuse à analyser.



Pic d'éluion de l'uranium contenu dans une urine minéralisée fixé sur une colonne couplée à un ICP-MS

Dans un futur proche, il est prévu d'étudier la spéciation des actinides dans le système et de caractériser le comportement du support chromatographique de manière à optimiser la séparation sur une base rationnelle. Le couplage devra ensuite être automatisé et les paramètres chromatographiques (longueur et diamètre de la colonne, compactage de la résine, débit de solvant,...) modélisés et optimisés.

Les premiers résultats numériques comparés aux résultats expérimentaux seront présentés.

Sujet de la thèse :

Conséquences de l'inactivation temporelle de PAI-1 dans l'endothélium sur les fonctions physiopathologiques associées aux complications des radiothérapies

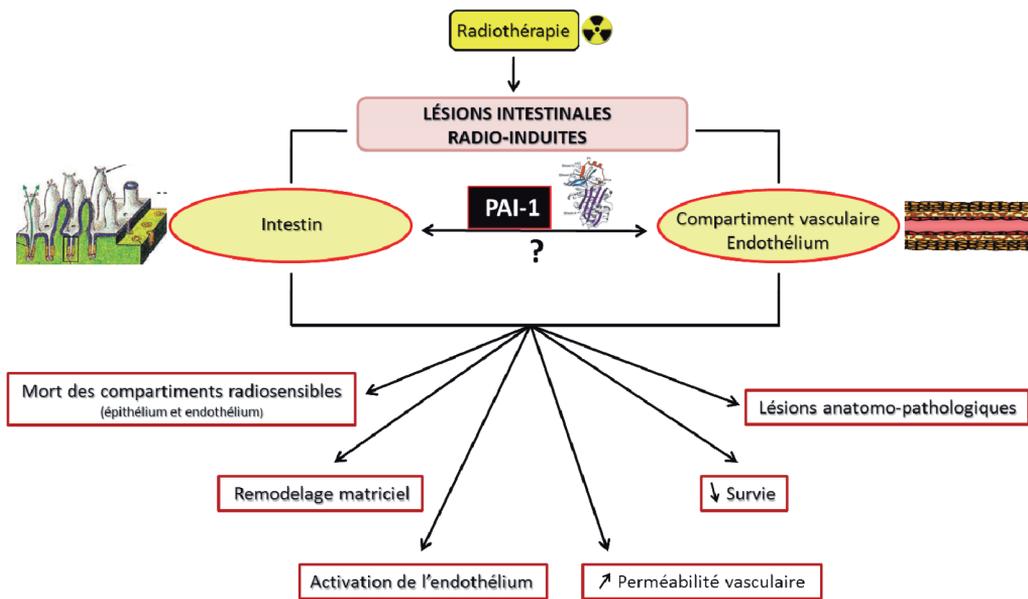
Doctorant :	RANNOU Emilie
Date du début de la thèse :	03/10/2011
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LRTE
Financement de thèse :	IRSN/EDF
Directeur de thèse :	Jean-Christophe SABOURIN - CHU Rouen
Tuteur de thèse :	Fabien MILLIAT
Ecole doctorale :	Paris VI, ED Physiologie/Physiopathologie

La radiothérapie est à ce jour un outil indispensable de l'arsenal thérapeutique des traitements anticancéreux. L'efficacité des rayonnements ionisants dans le traitement des cancers abdomino-pelviens est cependant associé à l'apparition de lésions radio-induites aux tissus sains présents dans le champ d'irradiation. Il est admis que la réponse de l'intestin aux radiations est intégrée, résultant de l'ensemble des compartiments qui le composent et d'une séquence de processus imbriqués les uns aux autres, qui participent à l'initiation, la progression et la chronicité des lésions tissulaires. Parmi les compartiments clés, l'endothélium vasculaire est décrit comme une composante déterminante du développement des dommages radio-induits. Ce concept est étayé par de nombreux faisceaux d'arguments, mais aucune étude expérimentale ne permet d'établir un lien de causalité entre la dysfonction de l'endothélium et la progression des lésions tissulaires radio-induites. Il a été montré au laboratoire que PAI-1 (Plasminogen Activator Inhibitor type 1) est une protéine clé impliquée dans le développement et la chronicité des lésions intestinales radio-induites. Ces résultats obtenus grâce à l'utilisation de souris génétiquement déficiente en PAI-1 suggèrent que cette molécule est une cible thérapeutique potentiellement très intéressante et que le pool endothélial de PAI-1 est déterminant dans la réaction tissulaire après une exposition à de fortes doses de radiation. Cependant, les outils en notre possession ne permettaient ni d'aborder le rôle de PAI-1 dans l'endothélium, ni de connaître sa cinétique d'action et les fonctions physiologiques associées au développement des lésions intestinales radio-induites.

L'objectif de ce travail de thèse est donc d'étudier le rôle du pool endothélial de PAI-1 dans l'initiation et la progression des lésions radio-induites en utilisant des modèles de souris déficientes pour PAI-1 spécifiquement et exclusivement dans l'endothélium, de manière constitutive ou tamoxifène-inductibles grâce à la technologie Cre/Lox. L'utilisation de ces animaux dans un modèle d'irradiation localisée sur l'intestin nous permet de suivre les conséquences de l'inactivation spatio-temporelle de PAI-1 sur des événements clés contribuant à la pathogénèse des dommages radio-induits.

Les résultats obtenus sont en cours d'analyse avec l'objectif d'obtenir une meilleure compréhension du rôle du pool endothélial de cette protéine sur le développement et la chronicité des lésions intestinales radio-induites.

.../...



Sujet de la thèse :

Analyse de la relation entre l'exposition aux rayonnements ionisants lors d'examens tomodensitométriques et la survenue de pathologie tumorale, au sein de la cohorte « Enfant Scanner ».

Doctorant :	Neige JOURNY
Date du début de la thèse :	03/11/2011
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LEPID
Financement de thèse :	Institut National du Cancer
Directeur de thèse :	Dominique LAURIER
Tuteur de thèse :	Marie-Odile BERNIER
Ecole doctorale :	Université Paris Sud, ED420 Santé publique

Contexte La tomodensitométrie représente une part majeure de l'exposition médicale collective aux rayonnements ionisants (RI). Bien que le risque individuel attendu soit faible, la fréquence du recours aux examens justifie la nécessité de la caractérisation des risques délétères potentiels à long terme. La relation dose-réponse aux niveaux de dose correspondant à ces expositions (de l'ordre de quelques unités à dizaines de mGy) reste cependant débattue. Des travaux récents suggèrent néanmoins une augmentation du risque de leucémie et de tumeurs cérébrales après exposition aux scanners (Pearce 2012).

Objectif Etudier la relation entre le risque de cancers et l'exposition aux scanners pendant l'enfance.

Méthodes En amont du suivi d'incidence de cancers et de leucémies au sein de la cohorte « Enfant Scanner » mise en place par le laboratoire d'épidémiologie de l'IRSN, une évaluation de risque est réalisée pour estimer un ordre de grandeur des risques attendus dans la cohorte et selon des scénarii fréquents d'exposition. Cette approche repose sur 1) les distributions de dose observées dans la cohorte 2) les modèles dose-réponses publiés à partir du suivi des survivants des bombardements d'Hiroshima-Nagasaki et de patients exposés à des examens diagnostiques ou thérapeutiques 3) les données d'incidence et mortalité de la population générale française.

Résultats Des risques de cancers en excès attribuables à l'exposition aux scanners sont estimés par type d'examen, âge à l'exposition, âge atteint et genre. Ainsi, on estime notamment qu'après 20 ans de suivi, 2 (0.4-12) et 1 (0.2-3) cancers en excès de la thyroïde et du sein pourraient être attribuables à un scanner du thorax dans une population de 100000 filles exposées à 5 ans. Comparativement aux risques sans exposition, ces estimations représenteraient cependant 41 (9-241) et 90 (21-502) cancers attribuables au scanner pour 1000 cancers sans exposition.

Conclusion Appliquées à la structure de la population étudiée, ces données permettent d'estimer les risques attendus dans notre population d'étude selon la période de suivi. Ces estimations seront alors confrontées au suivi d'incidence de 2000 à 2011. A présent, 86000 enfants ont été inclus à partir de 16 CHU. Les inclusions et le recueil des expositions sont actuellement complétés.

Sujet de la thèse :

Dosimétrie cardiovasculaire à l'aide fantômes numériques hybrides dans le cadre de traitements par radiothérapie.

Doctorant :	Alexandra MOIGNIER
Date du début de la thèse :	03/10/2011
Laboratoire :	PRP-HOM/SDI/LEDI
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Bernard AUBERT
Tuteurs de thèse :	David BROGGIO et Sylvie DERREUMAUX
Ecole doctorale :	Université Paris Sud XI / MIPEGE

De nombreuses études épidémiologiques ont mis en évidence des effets secondaires non cancéreux, en particulier les maladies cardiovasculaires, suite à une radiothérapie. Une des principales atteintes est l'apparition de sténoses sur les coronaires. Cependant, les doses responsables de ces effets tardifs sont encore mal connues en raison du manque d'informations anatomiques dans les anciens dossiers médicaux. L'objectif de cette thèse est donc de préciser les doses responsables de ces atteintes en particulier pour la radiothérapie du sein et du lymphome de Hodgkin.

Les reconstructions dosimétriques rétrospectives sont actuellement limitées à l'utilisation de l'imagerie d'un patient représentatif ou des fantômes mathématiques à géométrie simple. Nous avons donc exploité le potentiel des fantômes numériques hybrides pour tenter de réduire les incertitudes dosimétriques. La méthode de génération d'images DICOM à partir du fantôme numérique a été validée. Le processus de modélisation à partir de radiographies a montré qu'il permettait parfois d'améliorer la dosimétrie.

Des études de sensibilité de la dose à différents paramètres (morphologie cardiovasculaire, morphologie thoracique, positionnement des faisceaux, etc) sont également nécessaires afin de quantifier les incertitudes associées à ces reconstructions dosimétriques rétrospectives. L'étude de sensibilité de la dose à la topologie des coronaires en radiothérapie du sein a montré que la dose à la coronaire la plus proche du champ d'irradiation, l'inter-ventriculaire antérieure, est en moyenne 2,8 fois celle au cœur et présente une dispersion due à la topologie de 21% sur un échantillon de 10 modèles.

Grâce à un partenariat avec l'Institut Gustave Roussy, nous allons créer des modèles de patients combinant leur imagerie thoracique acquise au moment de leur radiothérapie pour le lymphome de Hodgkin et leur imagerie cardiovasculaire acquise lors de leur suivi post-traitement. Nous pourrons ainsi corrélérer la localisation de lésions coronariennes à des doses assez proches de celles réellement reçues.

Au cours de cette thèse, la pertinence de différents indicateurs dosimétriques sera étudiée. A terme, nous prévoyons de donner des recommandations dosimétriques pour optimiser les traitements actuels et avoir des éléments pour améliorer l'établissement de la relation dose-effet.

.../...

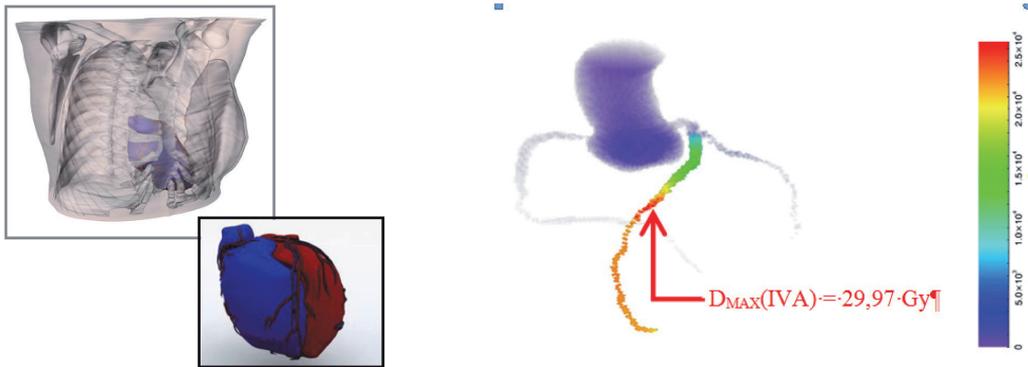


Figure : A gauche, exemple de fantôme numérique hybride avec un modèle de cœur générique. A droite, un exemple de cartographie de dose sur l'aorte et les principales artères coronaires suite à une radiothérapie du sein gauche, avec localisation du point chaud.



Sujet de la thèse :

Dosimétrie des faisceaux de photons de petites dimensions utilisés en radiothérapie stéréotaxique : détermination des données dosimétriques de base et évaluation des systèmes de planification de traitement.

Docteur :

Cyril MOIGNIER

Date du début de la thèse :

03/10/2011

Laboratoire :

PRP-HOM/SDE/LDRI

Financement de thèse :

TAF

Directeur de thèse :

Libor MAKOVICKA - Université de Franche Comté

Tuteur de thèse :

Christelle HUET

Ecole doctorale :

Université Paris Sud 11 / MIPEGE

L'IRSN a initié depuis quelques années un projet de recherche sur la dosimétrie des mini-faisceaux de photons utilisés en radiothérapie externe. Ces faisceaux de petites dimensions sont caractérisés par de forts gradients de dose et un manque d'équilibre électronique latéral et les techniques dosimétriques conventionnelles ne sont pas adaptées. La thèse, dont l'objectif est de permettre une meilleure évaluation de la dose délivrée aux patients traités par radiothérapie stéréotaxique, est articulée autour de deux axes.

Le premier axe consiste à caractériser et développer des techniques afin de déterminer au mieux les données dosimétriques de base dans les mini-faisceaux. En effet, il n'y a actuellement pas de consensus méthodologique ni de référence métrologique pour ce type de faisceaux. Pour cela un modèle Monte-Carlo d'un appareil délivrant des mini-faisceaux (CyberKnife®, Centre Oscar Lambret, Lille) a été développé à l'aide du code de calcul PENELOPE (figure 1). Des techniques de réduction de variance spécifiques et une pseudo-parallélisation ont été implémentées dans le code. Le modèle a été ajusté à l'aide de mesures et une étude de sensibilité aux paramètres d'ajustement a été réalisée. Trois détecteurs utilisés pour la mesure des données de base ont également été modélisés. Les valeurs d'une des données de base, appelée Facteur d'Ouverture du Collimateur (FOC), ont été calculées pour plusieurs tailles de champs et comparées aux valeurs mesurées à l'aide de différents détecteurs. Il en ressort que les micro-dosimètres de LiF ainsi que les films radiochromiques sont de bons candidats pour l'établissement d'un protocole national d'étalonnage des mini-faisceaux.

Le second axe consiste à évaluer, à l'aide d'une approche expérimentale, les écarts entre la dose calculée par les systèmes de planification de traitement (TPS) utilisés en radiothérapie stéréotaxique et la dose réellement délivrée au patient. En effet, la plupart des algorithmes de calculs mis en œuvre dans les TPS ne permettent pas de modéliser suffisamment précisément les phénomènes physiques propres aux faisceaux de photons de petites dimensions. Un protocole de mesure des distributions de dose à l'aide de films radiochromiques est en cours d'élaboration. Différentes méthodes d'analyse ont été implémentées dans un outil développé sous matlab et sont inter-comparées.

.../...



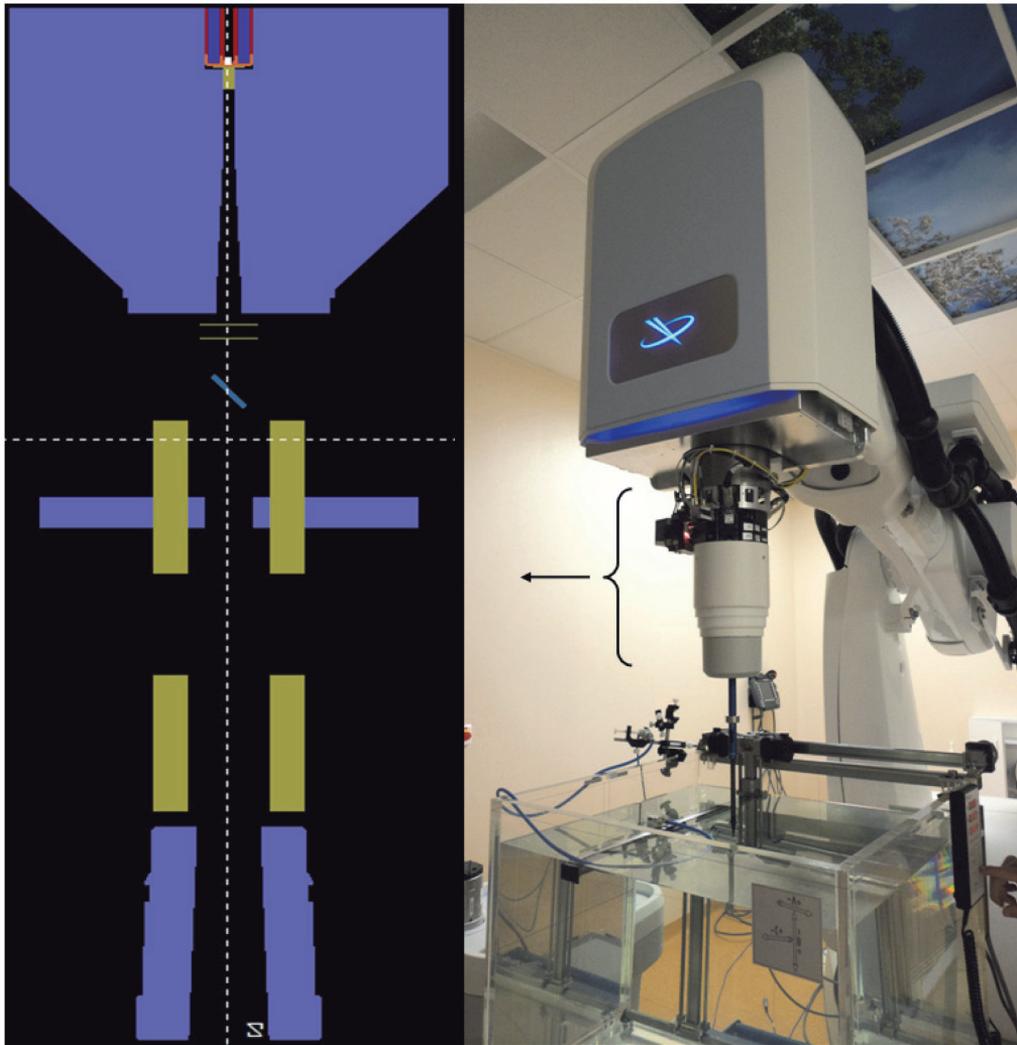


Figure 1 : Modélisation de la tête du CyberKnife (à gauche) et photographie du CyberKnife (à droite)



Sujet de la thèse :

De la dosimétrie standard à la dosimétrie personnalisée en médecine nucléaire : prise en compte de la morphologie et de la biocinétique spécifique au patient.

Doctorant :	Alice PETITGUILLAUME
Date du début de la thèse :	03/10/2011
Laboratoire :	PRP-HOM/SDI/LEDI
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Didier FRANCK
Tuteur de thèse :	Aurélié DESBREE
Ecole doctorale :	Paris 7 / ED517 - Particules, Noyaux et Cosmologie

La médecine nucléaire implique l'injection d'un radiopharmaceutique dans un but diagnostique ou thérapeutique. Certains organes devenant alors des sources de radioactivité, le principe d'optimisation doit être appliqué. La dose reçue par les organes sains doit être maintenue à un niveau acceptable le plus bas possible compatible avec le but thérapeutique ou l'obtention d'une information de qualité. Une dosimétrie réaliste et précise doit donc être réalisée afin d'assurer la radioprotection du patient. En outre, cette dosimétrie doit être personnalisée pour les applications thérapeutiques.

Le logiciel OEDIPE, développé à l'IRSN (PRP-HOM/SDI/LEDI), permet de réaliser une dosimétrie réaliste et précise grâce à l'association de fantômes voxelisés modélisant le corps humain, de matrices 3D décrivant la distribution spatiale de l'activité à partir d'une imagerie 3D et le code de calcul Monte-Carlo MCNPX.

La planification d'un traitement de Radiothérapie Interne Sélective (SIRT), consistant en l'injection de microsphères chargées à l'Yttrium-90 pour le traitement de métastases hépatiques inopérables, repose actuellement sur des méthodes dosimétriques ignorant l'hétérogénéité de répartition de l'activité dans les tissus et la cinétique de l'irradiation.

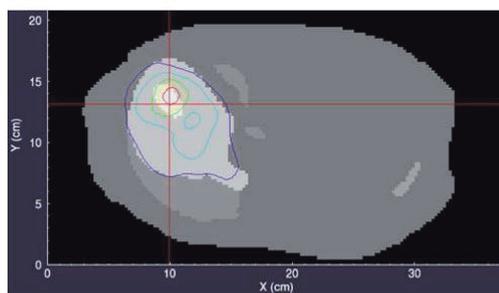
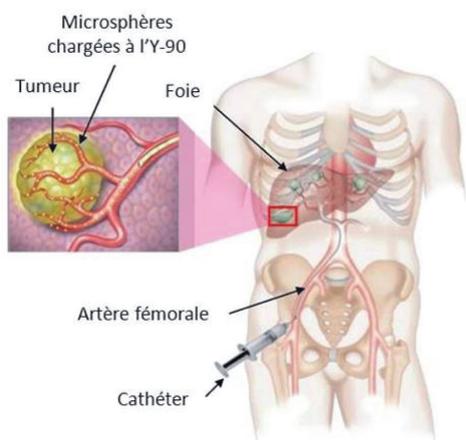
Dans ce contexte, une dosimétrie 3D personnalisée, tenant compte de la morphologie et de la biodistribution spécifiques au patient, a été développée en collaboration avec le service de Médecine Nucléaire de l'Hôpital Européen Georges Pompidou (HEGP) et appliquée rétrospectivement à quatre cas cliniques.

Tout d'abord, des doses absorbées moyennes aux organes, des courbes isodoses superposées au fantôme voxelisé et des histogrammes dose-volume ont été obtenus pour chaque patient. L'ajout d'un module « Radiobiologie » dans OEDIPE a ensuite permis de décrire la distribution de la Dose Biologiquement Efficace (BED), afin de rendre compte des effets biologiques et de l'hétérogénéité du débit de dose. Les BED moyennes aux organes, les courbes iso-BED et les histogrammes BED-Volume sont alors autant d'informations complémentaires utiles pour assurer la radioprotection des organes à risque et une optimisation du traitement.

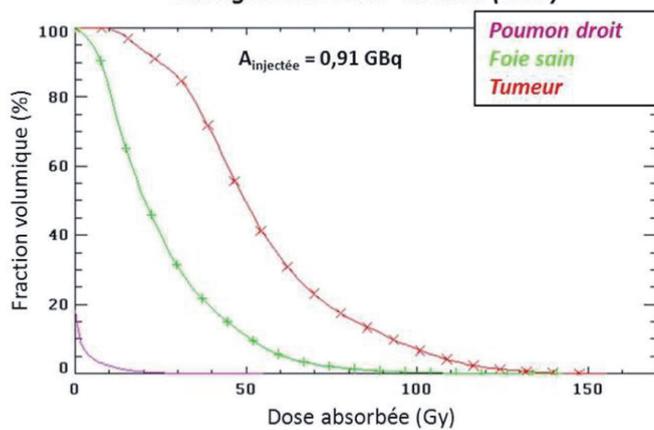
Après l'application de cette méthodologie à d'autres patients ayant bénéficiés d'une thérapie SIRT, une personnalisation plus poussée de la dosimétrie 3D sera entreprise, pour d'autres thérapies, par la prise en compte de la biocinétique spécifique au patient.

.../...





Histogramme Dose-Volume (HDV)



En haut à gauche : Principe général de la Radiothérapie Interne Sélective (SIRT).

En haut à droite : Exemple de courbes isodoses superposées au fantôme voxelisé (coupe transverse).

En bas : Exemple d'histogrammes dose-volume obtenus pour un patient ayant bénéficié d'une thérapie SIRT.



doctorants non-présents

Rima SAYAH Evaluation des doses dues aux neutrons secondaires reçues par les patients de différents âges traités par protonthérapie pour des tumeurs intracrâniennes.

Guillaume BERTHE Faisabilité d'un stockage souterrain de CO₂ : Etude de l'influence de discontinuités sur les vitesses de migration au travers de l'argilite de Tournemire

Roberta VISENTINI Étude expérimentale des transferts thermiques en ébullition transitoire.

Rafik AFFES Fragmentation dynamique des matériaux fritté Application au combustible nucléaire.

Mehdi COLBERT Étude du comportement de gaz rares confinés dans une matrice céramique à haute température -modélisation par des approches semi-empiriques.

Fanny DARDALHON Schémas Numériques pour la Simulation des Grandes Echelles.

Raphaël MONOD Evaluation des fluctuations de température par simulation des grandes échelles

Romain BONHOMME Etude de la traversée de bulles à travers une interface liquide-liquide

Sujet de la thèse :

Evaluation des doses dues aux neutrons secondaires reçues par les patients de différents âges traités par protonthérapie pour des tumeurs intracrâniennes.

Doctorant :

Rima SAYAH

Date du début de la thèse :

1/10/2009

Laboratoire :

PRP-HOM/SDE/LDRI

Financement de thèse :

IRSN/ICPO

Tuteur de thèse :

Laurent Donadille

Directeur de thèse :

Joel Hérault - Centre Antoine Lacassagne (Nice)

Ecole doctorale :

Paris 11/STITS

La protonthérapie est une technique avancée de radiothérapie qui permet de délivrer une dose élevée à la tumeur, tout en épargnant au mieux les tissus sains environnants. Cependant, des particules secondaires, principalement des neutrons, sont créées par les interactions nucléaires des protons et conduisent à des doses indésirables déposées aux tissus sains situés à distance du volume cible. Cette thèse a pour objectif d'évaluer par calcul les doses dues aux neutrons secondaires reçues par des patients de différents âges traités par des faisceaux de protons de 178 MeV pour des tumeurs intracrâniennes. Les traitements sont réalisés à l'aide d'un bras isocentrique installé à l'Institut Curie-Centre de Protonthérapie d'Orsay (ICPO).

Les composants de la ligne et de la salle de traitement ainsi que la source de protons ont été modélisés à l'aide du code de calcul Monte Carlo MCNPX (figure). Le modèle obtenu a été validé par une série de comparaisons de calculs à des mesures expérimentales. Ces comparaisons ont concerné : a) les distributions de doses du faisceau de protons primaire dans un fantôme d'eau, b) la spectrométrie des neutrons en un point de la salle, c) les équivalents de doses ambiants en différents points de la salle et d) les doses à distance du volume cible au sein d'un fantôme physique anthropomorphe. Des accords satisfaisants ont été obtenus entre les calculs et les mesures, permettant ainsi de considérer le modèle comme validé.

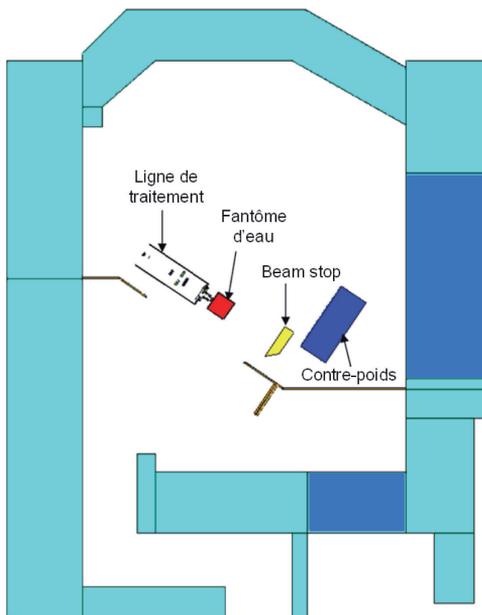


Figure- Vue horizontale de la salle et de la ligne de traitement de l'ICPO modélisées sous MCNPX

Les fantômes hybrides-voxélisés de différents âges, développés par l'Université de Floride ont été ensuite introduits dans le modèle et des calculs de doses dues aux neutrons secondaires aux différents organes de ces fantômes ont été réalisés. Les doses diminuent lorsque la distance de l'organe au champ de traitement augmente et lorsque l'âge du patient augmente. La dose maximale, égale à 16,5 mGy pour un traitement délivrant 54 Gy à la tumeur, est reçue, pour le fantôme de 1 an, par les glandes salivaires. Une incidence latérale du faisceau de protons peut délivrer des doses quatre fois plus élevées qu'une incidence antéro-supérieure pour certains organes. Les doses équivalentes atteignent au maximum 155 mSv au cours d'un traitement complet.

Sujet de la thèse :

Étude expérimentale des transferts thermiques en ébullition transitoire.

Doctorant :

VISENTINI Roberta

Date du début de la thèse :

04/11/2009

Laboratoire :

PSN/SEMIA/LIMAR

Financement de thèse :

cofinancement EDF

Directeur de thèse :

Catherine COLIN - IMFT Toulouse

Tuteur de thèse :

Pierre RUYER

Ecole doctorale :

INPT/MEGEP

Les études de sûreté d'un réacteur nucléaire considèrent l'éventualité d'un accident d'insertion de réactivité. Un fort pic de puissance est alors transmis du combustible au fluide qui les entoure, entraînant une évaporation soudaine et pouvant compromettre la tenue de la première barrière. Le but de la thèse était de construire une expérience capable de fournir des informations sur l'ébullition rapide, encore mal connue aujourd'hui.

Cette expérience a été conçue à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse. Elle est constituée d'une feuille métallique d'acier de 50 μ m d'épaisseur, pliée en demi cylindre (8mm de diamètre et 200mm de longueur) et chauffée par effet Joule. Elle est entourée par du fluide réfrigérant HFE7000, qui permet de travailler en similitude par rapport au cas réel en eau. Le fluide est confiné par un deuxième demi cylindre en verre, ayant 34mm de diamètre. Les expériences peuvent être en vase ou avec écoulement, écoulement qui a été caractérisé par des mesures PIV. L'emploi d'une alimentation pilotable et très flexible permet d'obtenir des chauffages du métal jusqu'à 2500K/s, mais aussi des montées en température plus faibles, pour tracer des courbes d'ébullition stationnaires ou faiblement transitoires. La température de la paroi est mesurée grâce à une caméra infrarouge, couplée à des visualisations rapides et à des mesures de pression et température dans le liquide. En outre, la puissance injectée est connue grâce à des mesures de tension et courant électrique.

Des considérations sur les différents régimes d'ébullition résultent de ce travail. Les échanges monophasiques se font par conduction et convection couplées, même quand la montée en température est très rapide. Le déclenchement d'ébullition s'effectue pour un certain seuil d'énergie passée dans le fluide et on peut identifier une surchauffe limite, qui correspond à l'activation des sites de nucléation les plus petits. Les données pour l'ébullition nucléée en conditions stationnaires sont bien représentés par les corrélations de la littérature. Les transitoires montrent des flux plus élevés, tendance aussi confirmée par la littérature. Quand on est en transitoire rapide, c'est-à-dire pour des tests de 0.1/0.5sec où l'on atteint les 200°C de température de paroi, il semble que l'on passe toujours par une phase d'ébullition nucléée.



Sujet de la thèse :

Fragmentation dynamique des matériaux fritté Application au combustible nucléaire.

Doctorant :	Rafik AFFES
Date du début de la thèse :	01/10/2009
Laboratoire :	PSN/SEMIA/LPTM
Financement de thèse :	laboratoire commun MIST (IRSN/CNRS)
Directeur de thèse :	Farhang Radjai (Université de Montpellier)
Tuteur de thèse :	Yann Monerie
Ecole doctorale :	Université Montpellier 2/I2S

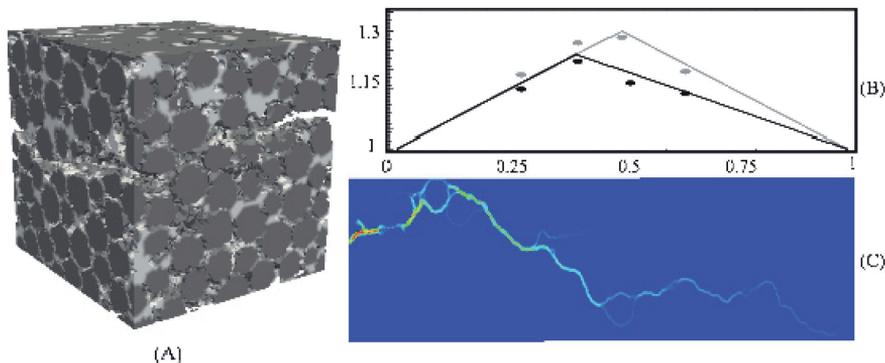
Le béton est un matériau à microstructure polyphasique hétérogène utilisé dans le confinement des radioéléments. Il subit des fissurations inhérentes à son fonctionnement qui se densifient avec les sollicitations et le vieillissement des structures. La caractérisation de ces fissures forme un enjeu crucial pour les analyses de sûreté.

Dans une optique d'analyse d'étanchéité sur des bétons fissurés, une méthodologie de génération d'échantillons de «béton numérique» représentatifs a été proposée. Cette méthodologie permet de modéliser les matériaux granulaires cimentés sur la base d'indicateurs morphologiques fins et d'estimer la tortuosité du réseau de fissures qui peut y apparaître sous chargement. Les mécanismes qui contrôlent le comportement et la rupture de ce type de matériau ont été classifiés. Trois régimes de rupture ont été identifiés en fonction de la fraction volumique de la phase cimentaire et de l'adhésion aux interfaces mortier/agrégats.

Une corrélation directe entre la microstructure d'un béton et la morphologie de ses fissures a ainsi été obtenue : leur tortuosité est modélisée, avec une erreur inférieure à 3%, comme une fonction de la fraction volumique des agrégats et de la dispersion de leurs diamètres.

Enfin, la perméabilité apparente des bétons numériques fissurés a été estimée et une corrélation microstructure-tortuosité-perméabilité a été obtenue. Ce résultat a été confronté à des techniques micromécaniques classiques.

Les outils de modélisation et d'analyse proposés sont suffisamment génériques pour pouvoir prendre en compte la complexité microstructurale d'autres matériaux polyphasiques hétérogènes ainsi que leurs évolutions dans le temps. Le transport de radioéléments dans les bétons fissurés ou encore la fragmentation du combustible nucléaire sous l'effet des chargements thermomécaniques en sont des exemples intéressants pour le domaine de la sûreté nucléaire.



(A) Echantillon cubique d'un béton numérique fissuré. (B) Evolution de la tortuosité en fonction de la fraction volumique de particules pour une dispersion entre les diamètres de 1 en gris et de 6 en noir. Points : résultats numériques. Traits : estimations du modèle. (C) Champs de vitesses d'un fluide s'écoulant à travers une coupe d'un béton numérique fissuré.



Sujet de la thèse :

Étude du comportement de gaz rares confinés dans une matrice céramique à haute température - modélisation par des approches semi-empiriques.

Doctorant :	Mehdi COLBERT
Date du début de la thèse :	05/10/2009
Laboratoire :	PSN/SEMIA/LPTM
Financement de thèse :	IRSN/AREVA
Directeur de thèse :	Guy Trégliat ; Roland Pellenq - CINaM - CNRS Marseille
Tuteur de thèse :	Fabienne Ribeiro
Ecole doctorale :	Université AMU, Ecole Doctorale 352 : PHYSIQUE ET SCIENCES DE LA MATIERE

Lors de la fission dans un réacteur nucléaire, l'uranium génère des produits de fission, en particulier des gaz rares stables (Kr et Xe essentiellement, avec un rendement de fission à hauteur de 30%). Ces gaz ne présentent qu'une très faible solubilité dans la matrice UO_2 et peuvent soit être relâchés dans le jeu pastille-gaine, soit former des bulles de gaz (intra ou intergranulaires) au sein de la matrice.

Le comportement thermo-mécanique sont fortement affectés par la présence de gaz rare en régime normal de fonctionnement et d'autant plus en régime accidentel.

En effet, on peut noter que :

- la présence de gaz dans le jeu pastille-gaine et à l'intérieur de la pastille modifie la conductivité thermique et les échanges pastille/gaine;
- la présence de bulles modifie la porosité du milieu et donc le comportement mécanique du combustible;
- les bulles de gaz peuvent conduire à un gonflement du combustible ;
- le gaz relâché peut induire une forte pressurisation du crayon combustible et contribuer au chargement mécanique de la gaine (phénomène de "balloning" en cas de crise d'ébullition, ...);
- la présence de bulles pressurisées confinées dans la matrice UO_2 peut conduire, notamment en cas d'un brusque changement de température, à une fracturation du combustible. Ce phénomène est particulièrement important dans l'optique d'une fissuration de la gaine, puisqu'il influe sur la nature et la quantité des fragments de combustible qui seront alors relâchés.

Les enjeux liés aux principaux phénomènes et mécanismes régissant le comportement des gaz de fission ont donné lieu à d'importants efforts tant sur le plan théorique qu'expérimental, dans le but d'accroître notre compréhension du combustible et d'améliorer sans cesse les modèles. Les simulations ont été considérées comme un nouvel angle de recherche permettant une meilleure compréhension des processus se déroulant à l'échelle atomique, mais aussi de certains processus qui ne seraient pas visibles directement par voie expérimentale (tels que le comportement du combustible lors d'un transitoire de puissance).

L'objectif de ce travail est de caractériser l'impact des bulles de gaz sur le comportement macroscopique d'un mono-cristal d' UO_2



Sujet de la thèse :
Schémas Numériques pour la Simulation des Grandes Echelles.

Doctorant :	Fanny DARDALHON
Date du début de la thèse :	01/10/2009
Laboratoire :	PSN/SA2I/LIE
Financement de thèse :	cofinancement région PACA
Directeur de thèse :	Franck Boyer - Université d'Aix - Marseille
Tuteur de thèse :	Céline Lapuerta
Ecole doctorale :	Aix-Marseille Universités (Mathématique et Informatique - ED 184)

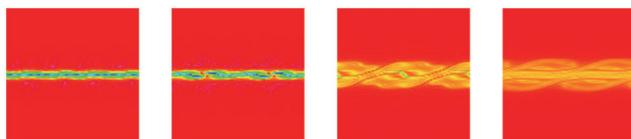
Dans les simulations effectuées pour les études de sûreté nucléaire, les écoulements à décrire sont la plupart du temps turbulents. C'est le cas, par exemple, des incendies dans des locaux confinés et ventilés mécaniquement, tels que simulés par le logiciel ISIS développé à l'IRSN. Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est de développer et d'analyser des schémas numériques performants pour la LES dans des domaines de géométrie complexe (maillages non structurés) pour des écoulements incompressibles ou à faible nombre de Mach. Deux arguments semblent essentiels à la construction de tels schémas: le contrôle de l'énergie cinétique et la précision pour des écoulements à convection dominante.

Les schémas étudiés sont des méthodes à pas fractionnaires basées sur une technique de correction de pression appliquée aux équations de Navier-Stokes. La discrétisation spatiale repose sur l'élément fini de Rannacher-Turek. Les travaux présentés portent sur les discrétisations spatiale et temporelle.

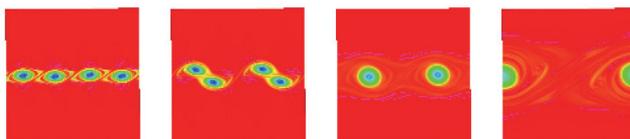
Concernant la discrétisation en temps, nous proposons un schéma de type Crank-Nicolson pour lequel nous montrons un contrôle de l'énergie cinétique. Ce schéma présente de plus l'avantage d'être peu dissipatif numériquement (résidu d'ordre deux en temps).

Concernant la discrétisation en espace, elle semble peu précise pour la simulation d'écoulements à convection dominante, notamment par rapport au schéma MAC (volumes finis). Pour cette raison, deux approches sont envisagées. La première approche contraint (par pénalisation) les inconnues de vitesse tangentes aux faces à s'écrire comme combinaison linéaire des inconnues normales alentour. Nous montrons qu'en faisant tendre le paramètre de pénalisation vers l'infini, le schéma limite obtenu est de type MAC. La deuxième approche repose sur l'enrichissement de l'espace discret d'approximation pour la pression. Pour le problème de Stokes discret, des estimations de l'erreur d'approximation en espace d'ordre un pour la vitesse (norme H1 brisée) et pour la pression (norme L2) sont démontrées pour des maillages uniformes constitués de rectangles ou de parallélogrammes.

Enfin, différents tests numériques sont présentés en dimensions deux et trois et pour des maillages généraux, afin d'illustrer les capacités des schémas étudiés et de confronter les résultats théoriques et expérimentaux.



(a) Schéma Rannacher-Turek.



(b) Enrichissement de la pression.



LES DOCTORANTS DE L'IRSN RÉCOMPENSÉS

Au cours de cette année universitaire, 8 doctorants de l'IRSN ont reçu un prix récompensant leurs travaux de recherche. Félicitations à eux et à l'ensemble des doctorants et chercheurs de l'institut pour la qualité d'ensemble de la recherche IRSN.

- Pierre Roupsard [PRP-ENV] qui soutient cette année, a reçu l'un des Best Poster Award remis lors de la 19e European Aerosol Conference qui s'est déroulée à Grenade (Espagne) du 2 au 7 septembre 2012.
- Jérémy Sabard [Coria avec PSN-RES] a remporté un des cinq prix du meilleur papier au 9e International Symposium on Hazards, Prevention and Mitigation of Industrial Explosions (ISHPMIE) qui s'est déroulé à Cracovie (Pologne) du 22 au 24 juillet 2012.
- Isabel Idarraga [PSN-RES] qui a effectué une thèse à l'IRSN, a reçu le 18 juin 2012 le prix Jean Bourgeois décerné par la Sfen (Société française d'énergie nucléaire). Sa thèse a été soutenue en 2011
- Caroline Rouas [PRP-HOM] a obtenu en juin 2012 le prix de thèse de l'ED425 (École doctorale 425 de l'Université Paris XI à Chatenay-Malabry) qui récompense une thèse de doctorat achevée en 2011 au sein du Pôle de Pharmacologie-Toxicologie.
- Jad Farah [PRP-HOM], a remporté parmi 18 candidats le premier « prix des jeunes professionnels », au 13e Congrès de l'IRPA qui a eu lieu à Glasgow du 13 au 18 mai 2012, pour son travail de thèse effectué à l'IRSN
- Morgan Dutilleul [PRP-ENV], qui réalise un doctorat de biologie au Laboratoire d'écotoxicologie des radionucléides (Leco) de l'IRSN, a remporté le 10 mai 2012 le deuxième prix de la finale du concours « Votre soutenance en 180 secondes » (3MT - 3 minutes thesis - en version anglosaxonne), lors du 80e Congrès de l'Association francophone pour le savoir (Acfas).
- Miloud Chahlaoui [PSN-RES] a reçu le 26 mars 2012 le prix de la meilleure thèse en sciences de l'ingénieur décerné par la Fondation EADS en 2011
- Andrea Bachrata [PSN-RES] a reçu le 10 octobre 2011 une bourse L'Oréal France - Unesco- Académie des sciences « Pour les Femmes & la Science », décernée chaque année à dix jeunes femmes scientifiques pour la qualité et le potentiel de leurs recherches.

LISTE ALPHABÉTIQUE DES PARTICIPANTS ET INDEX DES PRÉSENTATIONS

Rafik AFFES	IRSN/PSN-RES/SEMIA	146
Jocelyne AIGUEPERSE	IRSN/PRP-HOM	
Mohamad AL SHAMA	IRSN/PSN-EXP/SES	19
Jonathan ALENGRY	IRSN/PSN-RES/SCA	80
Frederic ALONZO	IRSN/PRP-ENV/SERIS	
Bernard AUBERT	IRSN/PRP-HOM/SDE	
Laurent AUDOUIN	IRSN/PSN-RES/SA2I	
Richard BABUT	AREVA NP - Lyon	
Jean BACCOU	IRSN/PSN-RES/SA2I	
Andrea BACHRATA	IRSN/PSN-RES/SAG	104
Sarah BAGHDADI	IRSN/PRP-HOM/SDI	132
David BAILLY	IRSN/PRP-DGE/SRTG	88
Gauzelin BARBIER	IRSN/DSDP/SPS	
Mireille BATTON-HUBERT	Ecole des mines de Saint Etienne	
Genevieve BAUMONT	IRSN/DCOM	
Mokrane BELHARET	IRSN/PRP-ENV/SESURE	125
Ahmed BENTAIB	IRSN/PSN-RES/SAG	
Jean-Marc BERTHO	IRSN/PRP-HOM/SRBE	
Raphaëlle BESSOUT	IRSN/PRP-HOM/SRBE	29
Alain BIAU	IRSN	
Marie-pierre BIGOT	IRSN/DCOM	
Nawfal BLAL	IRSN/PSN-RES/SEMIA	65
Eric BLANCHARDON	IRSN/PRP-HOM/SDI	82
Aurélien BOISELET	IRSN/PRP-DGE/SCAN	93
Bernard BONIN	CEA Saclay	
Jean-marc BONZOM	IRSN/PRP-ENV/SERIS	
Jean-François BOTTOLLIER	IRSN/PRP-HOM/SDE	
Assia BOUAROURI	IRSN/PSN-RES/SCA	115
Damien BOUFFLERS	IRSN/PSN-RES/SA2I	112
Laurent BOUILLLOUX	IRSN/PSN-RES/SCA	
Denis BOULAUD	IRSN/PRP-HOM/ENV	
Philippe BOURRACHOT	IRSN/CE	
Soleiman BOURROUS	IRSN/PSN-RES/SCA	116
Dominique BOUST	IRSN/PRP-ENV/SERIS	
Patrick BOYER	IRSN/PRP-ENV/SERIS	
François BRECHIGNAC	IRSN/DG	
David BROGGIO	IRSN/PRP-HOM/SDI	
Edouard BRUGIERE	IRSN/PSN-RES/SCA	77
Christine BRUN-YABA	IRSN/DAI	
Giovanni BRUNA	IRSN/DG	
Arnaud BRUNNER	IRSN/PSN-RES/SA2I	113
Valérie BRUNO	IRSN/PRP-ENV/SESURE	
Guillaume BUCHER	IRSN/PRP-ENV/SERIS	54
Adeline BUISSET	IRSN/PRP-ENV/SERIS	130
Léticia BUSLIG	IRSN/PSN-RES/SA2I	36
Névénick CALEC	IRSN/PRP-ENV/SERIS	47
Adrien CARTONNET	IRSN/PSN-RES/SAG	97
Vincent CESARD	IRSN/PSN-RES/SCA	76
Valérie CHAMBRETTE	IRSN/DSDP/SPS	
Didier CHAMPION	IRSN/PRP-CRI	
Sabine CHARMASSON	IRSN/PRP-ENV/SESURE	82

Camille CHAUTARD	IRSN/PRP-DGE/SEDRAN	91
Adrien CHEMINET	IRSN/PRP-HOM/SDE	71
Clément CHEVALIER	IRSN/PSN-EXP/SNC	101
Eric CHOJNACKI	IRSN/PSN-RES/SA2I	82
Bertrand CIRÉE	IRSN/PSN-EXP/SES	
Olivia COINDREAU	IRSN/PSN-RES/SAG	
Mehdi COLBERT	IRSN/PSN-RES/SEMIA	147
Loïc COQUELIN	IRSN/PSN-RES/SCA	79
Frédéric COUSIN	IRSN/PSN-RES/SAG	
Mickaël COUTIN	IRSN/PSN-RES/SA2I	
Jean COUTURIER	IRSN/DG	
Sylvain CRISTOL	Université de Lille I	14
Fanny DARDALHON	IRSN/PSN-RES/SA2I	148
Simon DELCOUR	IRSN/PSN-RES/SCA	118
Guillaume DEPUYDT	IRSN/PRP-ENV/SESURE	48
Aurélié DESBREE	IRSN/PRP-HOM/SDI	
Alexandre DEVOS	IRSN/PRP-ENV/SERIS	
Morgane DOS SANTOS	IRSN/PRP-HOM/SDE	73
Damien DRUBAY	IRSN/PRP-HOM/SRBE	129
Brigitte DUBOIS	IRSN/DSDP/SPS	
Christiane DUFRESNE	IRSN/PRP-ENV/SESURE	126
Alice DUFRESNE	IRSN/PSN-RES/SEMIA	62
Guillaume DUPOUY	IRSN/PSN-RES/SA2I	120
Christelle DURAND	IRSN/PRP-HOM/SRBE	41
Christian DURIEZ	IRSN/PSN-RES/SEREX	
Morgan DUTILLEUL	IRSN/PRP-ENV/SERIS	55
Teni EBRAHIMIAN GHESLAGH	IRSN/PRP-HOM/SRBE	
Jean-Michel EVRARD	IRSN/PSN-RES	
Ghislain FERRAN	IRSN/PSN-EXP/SNC	121
Bruno FIEVET	IRSN/PRP-ENV/SERIS	
Margot FLACHET	IRSN/PSN-RES/SCA	
Sandrine FRELON	IRSN/PRP-ENV/SERIS	
Jacqueline GARNIER-LAPLACE	IRSN/PRP-ENV/SERIS	
Didier GAY	IRSN/PRP-DGE	
Thomas GELAIN	IRSN/PSN-RES/SCA	
Céline GELIS	IRSN/PRP-DGE/SCAN	
Jonathan GERARDIN	IRSN/PSN-RES/SEMIA	35
Rodolphe GILBIN	IRSN/PRP-ENV/SERIS	
Frédéric GOLDSCHMIDT	IRSN/DSDP/SPIIC	
Richard GONZALEZ	IRSN/PSN-RES	
Mélany GOUELLO	IRSN/PSN-RES/SEREX	96
Jules GOULIER	IRSN/PSN-RES/SAG	114
Benoît GOUSSEN	IRSN/PRP-ENV/SERIS	57
Sophie GRIVÉS	IRSN/PRP-HOM/SDI	127
Gaétan GRUEL	IRSN/PRP-HOM/SRBE	
Yann GUEGUEN	IRSN/PRP-HOM/SRBE	
Rodolfo GURRIARAN	IRSN/PRP-ENV/STEME	
Isabelle GUYOT	IRSN/DSDP/SPIIC	
Wim HAECK	IRSN/PSN-EXP/SNC	
Adrien HILAIRE	IRSN/PSN-EXP/SES	123
Christelle HUET	IRSN/PRP-HOM/SDE	
Sophie JACOB	IRSN/PRP-HOM/SRBE	84
Didier JACQUEMAIN	IRSN/PSN-RES/SAG	
Marion JEAMBRUN	IRSN/PRP-ENV/SESURE	44

François JEFFROY	IRSN/PSN-SRDS/SFORE	
Nicolas JIDENKO	CNRS - Université Paul Sabatier, Toulouse	
Alexis JINAPHANH	IRSN/PSN-EXP/SNC	32
Benoit JOURNE	Université de Nantes	12
Neige JOURNY	IRSN/PRP-HOM/SRBE	135
Jean-Claude LABORDE	IRSN/PSN-RES/SCA	
Jean-Victor LACAVE-LAPAULIN	IRSN/PRP-HOM/SRBE	30
Patrick LALOI	IRSN/PRP-HOM/SRBE	
Marina LASSERRE	IRSN/PSN-RES/SAG	99
Jean-Claude LATCHE	IRSN/PSN-RES/SA2I	
Laurence LE COQ	École des Mines de Nantes	
Clelia LE GALLIC	IRSN/PRP-HOM/SRBE	128
Léna LEBRETON	IRSN/PRP-HOM/SDE	
Catherine LECOMTE-PRADINES	IRSN/PRP-ENV/SERIS	
Pascal LEMAITRE	IRSN/PSN-RES/SCA	
Nathalie LEMAITRE	IRSN/DSDP/SPS	
Christian LINCOT	IRSN/PSN-SRDS/SSyR	
Hélène LYON-CAEN	Ecole Normale Supérieure - Paris	
Anaïs MAILLET	IRSN/PRP-DGE/SRTG	86
Zakaria MANA	IRSN/PSN-RES/SCA	117
Pierre MARCHAL	IRSN/PSN-RES/SCA	119
Adrien MARGERIT	IRSN/PRP-ENV/SERIS	
Denis MARO	IRSN/PRP-ENV/SERIS	
François MARSAL	IRSN/PRP-DGE/SEDRAN	
Isabelle MARTELLY	Université Paris 12-Val de Marne	
Olivier MASSON	IRSN/PRP-ENV/SESURE	
Emmanuel MATHE	IRSN/PSN-RES/SAG	122
Noelle MATHIEU	IRSN/PRP-HOM/SRBE	
Patrice MESTAYER	Ecole centrale de Nantes	24
Jean-Claude MICAELLI	IRSN/PSN-RES	
Fabien MILLIAT	IRSN/PRP-HOM/SRBE	
Joachim MISS	IRSN/PSN-EXP/SNC	
Cyril MOIGNIER	IRSN/PRP-HOM/SDE	138
Alexandra MOIGNIER	IRSN/PRP-HOM/SDI	136
Marcel MOKILI	École des Mines de Nantes	
Yann MONERIE	IRSN/PSN-RES/SEMIA	
Miguel MUNOZ ZUNIGA	IRSN/PSN-EXP/SNC	
Hervé MUTELLE	IRSN/PSN-RES/SEREX	
Georges NAHAS	IRSN/PSN-EXP/SES	
Tan-Trung NGUYEN	IRSN/PSN-RES/SA2I	100
Grégory NICAISE	IRSN/PSN-RES/SAG	83
Ingrid NOSEL	IRSN/PRP-HOM/SRBE	39
Fabien PANZA	IRSN/PRP-ENV/STEME	106
François PAQUET	IRSN/PRP-HOM/SRBE	
Alice PETITGUILLAUME	IRSN/PRP-HOM/SDI	140
Guillaume PHAN	IRSN/PRP-HOM/SDI	
Helmut PITSCHE	IRSN/-DSDP/SPIIC	
Delphine PLAIRE	IRSN/PRP-ENV/SERIS	58
Clémentine POISSON	IRSN/PRP-HOM/SRBE	38
Emmanuel PORCHERON	IRSN/PSN-RES/SCA	
Laurent POURCELOT	IRSN/PRP-ENV/SESURE	
Corinne PREVOST	IRSN/PSN-RES/SCA	
Arnaud QUEREL	IRSN/PSN-RES/SCA	26
Emilie RANNOU	IRSN/PRP-HOM/SRBE	133

Francois REBIERE	IRSN/PRP-HOM/SDI	
Valérie RENAUD-SALIS	IRSN/PRP-HOM/SDI	
Malvina RENNESSON	AREVA Paris	
Jacques REPUSSARD	IRSN/DG	
Fabienne RIBEIRO	IRSN/PSN-RES/SEMIA	
Isabelle RICHARD	IRSN/DG	
Yann RICHET	IRSN/PSN-EXP/SNC	
Marie-Christine ROBE	IRSN/DRH	
Pierre ROUPSARD	IRSN/PRP-ENV/SERIS	25
Céline ROUX	IRSN/PRP-DGE/SRTG	92
Pierre RUYER	IRSN/PSN-RES/SEMIA	
Simona SABA	IRSN/PRP-DGE/SRTG	89
Jérémy SABARD	IRSN/PSN-RES/SAG	34
Jean-Christophe SABROUX	IRSN/PSN-RES/SCA	
Paul SAPIN	IRSN/PSN-RES/SAG	98
Rima SAYAH	IRSN/PRP-HOM/SDE	144
Matthieu SCHULER	IRSN/DSDP	
Oona SCOTTI	IRSN/PRP-DGE/SCAN	
Alexandra SEMONT	IRSN/PRP-HOM/SRBE	
Caroline SIMONUCCI	IRSN/PRP-DGE/SRTG	
Sophie SOBANSKA	Université de Lille I	
Irène SOROKINE-DURM	IRSN/DSDP/SPS	
Audrey STERNALSKI	IRSN/PRP-ENV/SERIS	107
Romain SUCHET	IRSN/DCOM	105
Julien TAFOREAU	IRSN/PRP-HOM/SDE	70
Antoine TAILLIEZ	IRSN/PRP-ENV/SERIS	51
Deyana TCHITCHEKOVA	IRSN/PSN-RES/SEMIA	60
Christine TESSIER	IRSN/PRP-HOM/SDI	
Nicolas THEODORAKOPOULOS	IRSN/PRP-ENV/SERIS	52
Margot TIRMARCHE	IRSN/PRP-HOM/SRBE	
Jean-Michel TORRENTI	ENS Cachan	18
Romain VANDEPUTTE	IRSN/PSN-RES/SAG	15
Elise VI NHU BA	IRSN/PRP-DGE/SCAN	124
François VIANNA	IRSN/PRP-HOM/SDE	72
Carmen VILLAGRASA	IRSN/PRP-HOM/SDE	
Roberta VISENTINI	IRSN/PSN-RES/SEMIA	
Quoc Tang VO	IRSN/PSN-RES/SEREX	64
Philippe VOISIN	IRSN/PRP-HOM/SRBE	
Anne VREL	IRSN/PRP-ENV/SERIS	45
Xuan dung VU	IRSN/PSN-EXP/SES	20
Pierre WEISS	Université de Nantes	28
Shuang WEN	IRSN/PSN-RES/SEMIA	63
George YADIGAROGLU	Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich	