

# Journées thèses 2010

## Arles

22 SEPTEMBRE - 24 SEPTEMBRE





JOURNÉE SCIENTIFIQUE DU MARDI 21 SEPTEMBRE  
LA RECHERCHE AU SERVICE DE L'ÉVALUATION DES RISQUES

9 :00 - 9 :10 Accueil Madame Agnès Buzyn, présidente de l'IRSN

9 :10 - 9 :30 Introduction Monsieur Jacques Repussard, directeur général de l'IRSN

9 :30 - 11 :30 Session sur la recherche propre à la caractérisation des phénomènes et à leur métrologie (Président : Denis Bertin, Université d'Aix-Marseille)

**Sébastien Canneaux** (Université de Lille 1, laboratoire de physicochimie des processus de combustion et de l'atmosphère)

Application de la chimie théorique et informatique à des problématiques de sûreté nucléaire

**Sébastien Luciani** (IRSN Cadarache, Direction de la prévention des accidents majeurs)

Mesure de flux de chaleur lors d'un incendie

**Jérôme Yon** (INSA de Rouen, Complexe de Recherche Interprofessionnel en aérothermochimie)

Caractérisation des agrégats de suie

**Céline Leroy** (IRSN Cherbourg, Direction de l'environnement et de l'intervention)

Dispersion atmosphérique de rejets en hauteur

11 :30 - 12 :00 Pause

12 :00 - 13 :00 Session sur la recherche propre à la caractérisation du détriment (Présidente : Patsy. Thompson, Commission canadienne de sûreté nucléaire)

**Jean Yves Bottero** (CNRS, Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement Aix en Provence)

Les risques environnementaux liés aux nanomatériaux

**Damien Piga** (IRSN Cadarache), Direction de l'environnement et de l'intervention/  
Rémanence du Cs-137 dans l'atmosphère

13 :00 - 14 :15 déjeuner

14 :15 - 15 :50 Session sur la recherche propre à la caractérisation du détriment (suite)

**Sandrine Massarin** (IRSN Cadarache, Direction de l'environnement et de l'intervention)

Effets de l'uranium sur le budget énergétique et conséquences sur la dynamique de population de *Daphnia magna*

**Pierre Verger** (Université d'Aix-Marseille, Observatoire régional de santé PACA)

Inégalités sociales et environnement : l'exemple des catastrophes et du bruit environnemental

**Camille Metz** (IRSN Fontenay aux Roses, Direction de la radioprotection de l'homme)

Effets sanitaires des faibles doses à faibles débits de dose : modélisation de la relation dose-réponse dans une cohorte de travailleurs du nucléaire

15 :50 - 16 :20 Pause - Présentation posters (liste page 95)

16 :20 - 18 :00 Session sur l'analyse et gestion des risques (président : George Yadigaroglu, Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich)

**Maurice Lemaire** (Institut français de mécanique avancée)

Approche probabiliste des marges de dimensionnement

**Gilles Motet** (INSA de Toulouse et Fondation Culture de sécurité industrielle)

Recherche en concertation : de l'idée à la pratique

**Eric Vindimian** (CEMAGREF Montpellier)

Politique publique de recherche dans le domaine environnemental

17 :50 - 18 :10 Conclusions : Michel Schwarz (directeur scientifique de l'IRSN)

Cocktail

JOURNÉES DES THÈSES IRSN  
PROGRAMME DU MERCREDI 22 SEPTEMBRE

08:20 séance plénière : sciences de l'environnement - Introduction par **Didier CHAMPION**

**Ali GANDOMZADEH** Interaction dynamique sol-structure : influence des non linéarités de comportement du sol

**Nathalie DUFOUR** Comportement poro-viscoplastique endommageable des cavités souterraines : application au stockage des déchets

**Gonca OKAY** Caractérisation de l'état microstructural et hydrique des géomatériaux argileux par l'étude de leurs propriétés électromagnétiques basses fréquences.

10:00 pause-poster (liste des posters page 95)

10:30 séance plénière : sûreté - Introduction par Jean Claude Micaelli

**Reza LAHIDJI** L'acceptabilité des risques sociaux

**Miloud CHAHLAFI** Modélisation du rayonnement en présence d'un gaz absorbant dans un cœur de réacteur dégradé.

**Franck LELONG** Expérimentation, modélisation et simulation de l'impact de gouttes d'eau sur le gainage gonflé des assemblages d'un cœur de REP en situation d'Accident de Perte de Réfrigérant Primaire.

**Mickaël KNOLL** Fragilisation par les métaux liquides étudiée en modélisation par éléments finis. Evaluation du risque encouru par les cuves de réacteurs nucléaires en situations de fusion de cœur

12:30 déjeuner

13:45 séance plénière : sciences de la santé - Introduction par Patrick Gourmelon

**Estelle COURAGEOT** Reconstitution dosimétrique physique d'accident radiologique par simulations numériques à l'aide d'outils associant un modèle anthropomorphe à un code de calcul Monte Carlo

**Cédric GOLABECK** Etude et développement d'une micro-TPC à He gazeux pour la mesure de reculs nucléaires de faibles énergies, utilisée conjointement dans le cadre de la métrologie neutron et de l'astrophysique

**Caroline ROUAS** Etude des mécanismes mis en jeu lors d'une exposition par les radio-nucléides et les métaux lourds sur le métabolisme des médicaments in vivo et in vitro.

**Marco ALVES VALENTE** Variabilité de la réponse lymphocytaire aux faibles doses de rayonnements ionisants

**Rym ABDERRAHMANI** Rôle de l'inhibiteur des activateurs du plasminogène de type I (PAI-1) dans la mort radio-induite des cellules endothéliales

**Karl BLIRANDO** Rôle des mastocytes et de leurs interactions avec le système des endothélines dans le développement des lésions radiques précoces et tardives de la paroi digestive.

16:45 pause-poster (Liste des posters page 95)

17:20 séance plénière - thématique sûreté (génie civil)

**Matthieu BRIFFAUT** Etude des transferts d'air sec et de vapeur d'eau à travers le béton. Effet de la fissuration au jeune âge des armatures et des reprises de bétonnage.

**Corentin AUBERNON** Evolution de la perméabilité du béton sous sollicitations d'accident grave : influence du chargement mécanique, de la température et du fluide percolant.

**The Dung NGUYEN** Apport de la modélisation mésoscopique dans la prédiction des écoulements dans les ouvrages en béton fissuré en conditions d'accident grave.

**Thomas DE LARRARD** Etude probabiliste des propriétés du béton. Applications aux enceintes de confinement et au stockage de déchets radioactifs.

19:30 dîner

20:30 Les doctorants à l'IRSN

JOURNÉES DES THÈSES IRSN  
PROGRAMME DU JEUDI 23 SEPTEMBRE

08:10 séance parallèle (salle Marie Mauron) : sûreté (incendie et aérosols)

**Housna KAMEL** Etude des mouvements de fumées d'incendie dans une configuration multi-enceinte ventilées mécaniquement : expérience à échelle réduite sur des scénarios impliquant plusieurs locaux connectés

**Ayoub NASR** Modélisation de l'évolution de la puissance d'un feu en régime de sous-ventilation dans un milieu confiné et mécaniquement ventilé

**Kodjo COUDORO** Etude expérimentale et modélisation de la propagation de flammes de prémélange dans un milieu confiné ou semi-confiné

**Nicolas LE ROUX** Etude par similitude de l'influence du vent sur les transferts de masse et d'énergie dans les bâtiments complexes

**Clothilde BROCHOT** Filtration des nanoparticules - application aux appareils de protection respiratoire

**Arnaud FOISSAC** Modélisation des interactions entre gouttes en environnement hostile

**Mélany GOUELLO** Etude 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

08:10 séance parallèle (salle Manadiers) : sciences de la santé (dosimétrie et radiobiologie)

**Lama HADID** Optimisation d'un outil dosimétrique personnalisé : application à la dosimétrie des patients de médecine nucléaire.

**Jad FARAH** Amélioration des mesures anthroporadiométriques personnalisées assistées par calcul Monte Carlo : optimisation des temps de calculs et méthodologie de mesure pour l'établissement de la répartition d'activité.

**Mouhamad ELBAST (PsD)** Problématique de l'irradiation alpha suite à une contamination interne : calculs de dose à l'échelle cellulaire et corrélation aux observables biologiques

**Vincent LAMIRAND** Détermination de sections efficaces pour la production de champs neutroniques monoénergétiques de basses énergies

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

**Nicholas SYNHAEVE** Influence d'une contamination chronique par ingestion de strontium 90 sur les systèmes hématopoïétique et immunitaire.

**Rodrigue ALLODJI** Prise en compte des erreurs de mesure dans l'analyse du risque associé à l'exposition aux rayonnements ionisants dans une cohorte professionnelle : application à la cohorte française des mineurs d'uranium.

10:20 pause-poster (liste des posters page 95)

11:00 déjeuner - temps libre - exposition « César, le Rhône pour mémoire »

16:40 séance parallèle (salle Manadiers) : sûreté (chimie et modélisation)

**Daoud BAALBAKI** Modélisation et simulation des effets de la turbulence sur le refroidissement des gainages gonflés d'un cœur de réacteur nucléaire à eau sous pression (REP) en situation d'accident de perte du réfrigérant primaire

**Walid KHERIJI** Méthodes de correction de pression pour le modèle de dérive

**Yathis DELICAT** Etude de la réactivité de produits de fission (I, Cd, Cs) transportés dans un mélange H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O en condition de combustion dans des flammes basse pression prémélangées.

**Shaoliang ZHANG** Etude cinétique de formation, d'agrégation et spéciation des oxydes d'iode (IO<sub>x</sub>) dans l'enceinte d'un réacteur nucléaire en situation d'accident grave

**Isabel IDARRAGA** Etude des mécanismes de dégradation sous air à haute température des gaines de combustible nucléaire en alliage de zirconium

18:20 pause

16:40 séance parallèle (salle Marie Mauron) : sciences de l'environnement (géosciences et écotoxicologie)

**Vincent ROCHE** Caractérisation de la fracturation différentielle dans les alternances argilo-calcaires : observation de terrain et modélisation numérique

**Chloé LESUEUR** Analyse des effets macrosismiques sur la base des questionnaires individuels (BCSF) et confrontation aux données accélérométriques françaises (RAP)

**Benjamin FRASCA** Comparaison entre la dispersion spatiale et les incertitudes expérimentales des paramètres de diffusion de l'eau dans des roches argileuses indurées

**Simone AL KADISSI** Comparaison de la réponse de l'écrevisse *Orconectes limosus* après exposition à un polluant métallique (Cadmium) et un polluant radiologique (uranium 238 et 233)

**Starr AUGUSTINE** Modélisation de l'impact de l'uranium sur les flux énergétiques individuels chez le poisson zèbre, *Danio rerio* : application de la théorie du Budget Énergétique Dynamique (DEB)

18:20 pause

18:35 séance plénière : sciences de l'environnement (géosciences)

**Joachim TREMOSA** Influence de l'osmose sur les surpressions mesurées dans la couche argileuse de Tournemire (Aveyron, France)

**Fethi BENSENOUCI** Apport des traceurs naturels à la compréhension des transferts au travers d'une couche argileuse : application aux argilites de Tournemire (Aveyron, France)

**Nicolas LOFFREDO** Devenir et transformation du séléniate dans les sols : mobilité, spéciation solide, cinétique de réduction.



JOURNÉES DES THÈSES IRSN  
PROGRAMME DU VENDREDI 24 SEPTEMBRE

08:20 séance plénière - thématique sûreté

**Marion LACOUE** Etude 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

**Fan ZHANG** Modélisation de la remise en suspension mécanique de particules par des écoulements turbulents.

**Clément INTROINI** Interaction entre un fluide à haute température et un béton : contribution à la modélisation des échanges de masses et de chaleur.

**Olivier ZANELLATO** Caractérisation expérimentale sous synchrotron des cinétiques de précipitation des hydrures dans les gaines de crayons de combustible

**Sebastian MINJEAUD** Raffinement Local Adaptatif et Méthodes Multiniveaux pour la Simulation d'Écoulements Multiphasiques.

**Benoît KREBS** Analyse de l'influence du mode d'hydruration artificielle sur les efforts internes dans les gaines de combustible

11:00 départ





## Session

### Caractérisation des phénomènes et métrologie

Salle Marie Mauron

Mardi 21 septembre : 9h30 - 11h30

Président : Denis Bertin

Université d'Aix-Marseille - UMR 6517 - Chimie, Biologie et radicaux libres

**Sébastien CANNEAUX** (Université de Lille 1, laboratoire de physicochimie des processus de combustion et de l'atmosphère)  
Application de la chimie théorique et informatique à des problématiques de sûreté nucléaire

**Sébastien LUCIANI** (IRSN Cadarache, Direction de la prévention des accidents majeurs)  
Mesure de flux de chaleur lors d'un incendie

**Jérôme YON** (INSA de Rouen, Complexe de Recherche Interprofessionnel en aérothermochimie)  
Caractérisation des agrégats de suie

**Céline LEROY** (IRSN Cherbourg, Direction de l'environnement et de l'intervention)  
Dispersion atmosphérique de rejets en hauteur

Titre de la présentation :

Titre de la présentation : Application de la Chimie Théorique et Informatique à des problématiques de sûreté nucléaire

**Sébastien CANNEAUX**

Laboratoire : laboratoire de PhysicoChimie des Processus de Combustion et de l'Atmosphère (PC2A) UMR 8522 CNRS/Lille1 et Laboratoire de Recherche Commun IRSN-CNRS-Lille1 «Cinétique Chimique, Combustion, Réactivité» (C<sup>3</sup>R)

---

Dans le cadre de la démarche d'amélioration continue de la sûreté des installations, de nombreuses études sont menées pour évaluer l'impact des rejets potentiels pour divers scénarios accidentels survenant à une installation nucléaire. L'évaluation du Terme Source implique de bien connaître la réactivité potentielle des produits de fission. Le coût des programmes expérimentaux et les limites technologiques associées sont deux contraintes importantes, qui se traduisent au mieux par une réduction des bases de validation des modèles lorsqu'ils existent ou le plus souvent limite le développement et l'amélioration de modèles alimentant les logiciels de simulation développés par l'IRSN.

La chimie théorique connaît un essor important dans le développement des méthodes de résolution numérique, de bases d'orbitales atomiques étendues et, par-dessus tout, par la réduction des temps de calcul liée à l'essor de la puissance des calculateurs.

Dans le domaine de la sûreté nucléaire, la chimie théorique présente de nombreux intérêts :

- Elle peut apporter une réponse relativement rapide en regard de l'échelle de temps propre à la mise en œuvre d'expériences ;
- Elle a un caractère universel et les méthodologies sont facilement transposables à un large domaine de conditions ;
- Elle permet d'obtenir des données non directement accessibles expérimentalement et constitue donc un précieux outil en support à l'interprétation ;
- Le champ d'application est vaste puisqu'il s'étend de la chimie du solide, à la chimie en solution et à la chimie en phase gazeuse.

Dans le cadre de la collaboration entre le CNRS/PC2A et l'IRSN (Laboratoire Commun de Recherche C<sup>3</sup>R), la chimie théorique est appliquée à la problématique de la chimie de l'iode pour améliorer les connaissances sur deux points :

- La réactivité de l'iode en phase gazeuse dans le circuit primaire ; cet action s'inscrit dans le cadre plus large du programme CHIP (CHimie de l'iode dans le circuit Primaire), inclut dans le programme international ISTP, visant à modéliser la cinétique des réactions prépondérantes dans le circuit primaire.
- La modélisation du comportement des oxydes d'iode et nitroxydes d'iode dans l'enceinte de confinement et notamment obtenir les propriétés thermodynamiques des formes les plus stables.

Pour ce faire les outils mis en œuvre sont la chimie quantique et la dynamique moléculaire.

Pour la chimie quantique, un travail important de qualification de méthodes et bases d'O.A. a été entrepris pour l'iode et le césium. Des constantes thermo-cinétiques ont été calculées pour des réactions impliquant les éléments {I-O-H-Cs}.<sup>1</sup> Ces données permettront d'alimenter les mécanismes réactionnels en cours de développement.

Pour la partie dynamique moléculaire, un code de calcul SPyDERS (Software in Python for Dynamics, Energetics and Restrained Simulations) est en cours de développement. Ce choix a été dicté par la volonté de disposer d'un outil générique, modulaire et flexible. A court terme cet outil sera mis à profit pour calculer l'énergie de solvatation de molécules iodées qui conditionne la distribution des espèces entre la phase aqueuse et gazeuse.

(1) *Theoretical Study of the Gas-Phase Reactions of Iodine Atoms (<sup>2</sup>P<sub>3/2</sub>) with H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, HI and OH*  
Canneaux S., Xerri B., Louis F., Cantrel L. J. *Phys. Chem. A*, 114, 9270-9288 (2010)

Sujet du post-doctorat :

Mesure de flux de chaleur par méthode inverse à travers des parois en béton exposées à un incendie

Sébastien LUCIANI

Date de début :

Laboratoire :

Tuteur :

Post-doctorat financé au titre de la recherche exploratoire.

09-2009

DPAM/SERCI/LEF

Mickaël COUTIN

Lors d'un incendie dans une enceinte confinée en béton, plus de la moitié de la chaleur dégagée par le feu est transférée aux parois. Ce transfert de chaleur par conduction/convection/rayonnement constitue une thématique de recherche importante pour la compréhension des phénomènes engendrés lors d'un feu. Les besoins de recherche concernent plus particulièrement la connaissance de l'évolution temporelle des flux de chaleur aux parois. A l'heure actuelle, les fluxmètres commerciaux permettant cette mesure présentent un certain nombre d'inconvénients dont les principaux sont d'être intrusifs, d'être trop fragiles dans l'environnement agressif d'un incendie, et de ne pas considérer dans leur calcul les changements thermophysiques des parois lié par exemple à des variations de température ou au vieillissement et la dégradation du béton.

Fort de ces constats, l'enjeu principal du projet présenté ici est le développement d'une métrologie en fluxmétrie adaptée aux spécificités de l'incendie. L'objectif est d'évaluer la faisabilité d'un nouveau concept de fluxmètre capable de déterminer de manière quasi-simultanée les flux de chaleur aux parois et les propriétés thermiques de ces parois par autodiagnostic. La technique de mesure de ce fluxmètre est basée sur le principe des méthodes inverses en thermique. En général, les deux types de problèmes inverses, estimation du flux de chaleur et estimation des propriétés thermiques, sont bien dissociés. L'originalité de ce projet est de regrouper les deux approches sur la même thématique.

La faisabilité du concept du fluxmètre est testée sur deux types de prototypes, matériau homogène (ciment) et matériau hétérogène (ciment/sable/granulat/fer), lesquels sont instrumentés par des thermocouples. La qualification des mesures de flux de chaleur est effectuée en comparant la mesure obtenue par méthode inverse à celle délivrée par une source de chaleur parfaitement connue (méthode directe) et par un capteur de référence (méthode par comparaison).

Cette étude est menée dans le cadre d'un projet de recherche exploratoire et est associée à l'axe thermique du laboratoire commun ETIC (ETude de l'Incendie en milieu Confiné) : laboratoire IRSN / IUSTI (Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels de Marseille).

*La recherche au service de l'évaluation du risque, 21 septembre 2010, Centre Maéva, Arles*

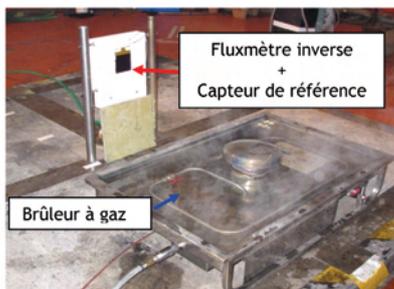


Figure 1 : Test de qualification d'un prototype de fluxmètre inverse devant un feu généré par un brûleur à gaz

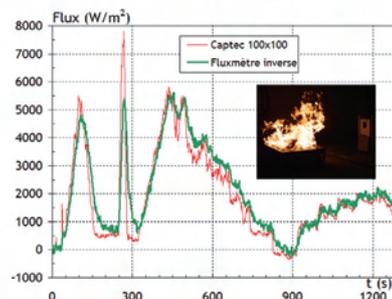


Figure 2 : Comparaison des flux de chaleur obtenus par un des prototypes de fluxmètre inverse et un capteur de référence

Titre de la présentation :  
Titre de la présentation : La caractérisation des agrégats de suie

**Jérôme YON**

Maître de conférence à l'université de Rouen  
Laboratoire CORIA UMR6614 - INSA de Rouen  
[jerome.yon@coria.fr](mailto:jerome.yon@coria.fr)

---

Les recherches effectuées au CORIA portent sur la caractérisation des particules de morphologies complexes et en particulier sur les particules de suie. Il s'agit de particules submicroniques issues de la combustion incomplète de carburant. On les retrouve à l'émission dans les véhicules thermiques, dans les incendies mais également dans l'atmosphère. Les particules de suie, du fait de leur faible taille et de leur composition chimique, présentent un risque pour l'individu. Par ailleurs, leurs propriétés radiatives leur confèrent un impact environnemental important.

La présentation sera faite sur les activités de recherches engagées au CORIA et en grande partie en collaboration étroite avec l'IRSN, pour améliorer le diagnostic de ces particules submicroniques. Cela consiste à :

- modéliser l'agrégation des nanoparticules produites dans les flammes,
- savoir caractériser la morphologie complexe de ces particules-agrégats,
- mesurer leur taille,
- déterminer la fraction de volume de ces particules.
- déterminer leurs propriétés optiques, essentielles au développement de la métrologie optique.

Un tour d'horizon des moyens métrologiques les plus couramment employés et leurs principes de fonctionnement seront présentés. Nous mettrons un accent particulier sur les méthodes optiques en développement dans notre laboratoire permettant d'accéder à ces informations de façon in-situ et lorsque c'est possible de façon non intrusive.

Sujet du post-doctorat :

Etude de la dispersion atmosphérique en champ proche pour des rejets en hauteur par expérimentation in-situ. Etude sur deux sites; comparaison et validation de modèles opérationnels

**Céline LEROY**

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DEI/SECRE/LRC-DEI

Tuteur :

Olivier CONNAN

---

Comprendre et prévoir la dispersion atmosphérique de rejets accidentels est un enjeu majeur pour l'IRSN. Pour cela, il existe des modèles de type gaussien. Caractérisés par des temps de calculs instantanés, ils sont appropriés aux situations accidentelles. Les modèles dits de première génération (Pasquill, Doury) les plus couramment utilisés ont été définis à partir de campagnes expérimentales menées en milieu rural et terrain plat pour des émissions au sol. Par conséquent, ils ne sont pas forcément adaptés aux situations de rejets en hauteur et/ou en terrain complexe (topographie, situation côtière, zone urbaine...). Un modèle dit gaussien de seconde génération comme ADMS 4 (CERC, Cambridge Environmental Research Consultant), très utilisé et recommandé par de nombreux instituts et organismes internationaux, pourrait être plus performant dans le cas de situation complexe, car il prend en compte les caractéristiques de la couche limite mais aussi les propriétés des sites (topographie et bâti).

Néanmoins, peu de données expérimentales en terrain complexe sont disponibles pour aider à la qualification de ce type de modèles. Le LRC (Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg-Octeville) réalise des campagnes expérimentales de dispersion atmosphérique à l'aide de différents traceurs depuis de nombreuses années. L'objectif de ce travail était de caractériser à partir de campagnes expérimentales le mode de dispersion de rejets en hauteur sur deux sites distincts, l'un de topographie complexe en position côtière et l'autre en plaine en zone rurale. Le premier site étudié est celui de La Hague, où la dispersion du panache de l'usine de retraitement de combustibles AREVA NC a été caractérisée en utilisant le 85Kr comme traceur du rejet. Le second site étudié est situé près de Châlons en Champagne, et il s'agissait, dans le cadre d'un contrat avec VEOLIA, de caractériser la dispersion du rejet d'une unité de valorisation énergétique en simulant le rejet à l'aide d'un gaz traceur, le SF<sub>6</sub>. Pour cela, trois campagnes expérimentales de deux semaines chacune ont eu lieu entre novembre 2008 et juillet 2009.

Ce travail présente les résultats des mesures de dispersion sur ces deux sites ainsi que les comparaisons avec les calculs effectués avec trois modèles gaussiens (Pasquill, Doury, ADMS 4).







## Session

Analyse et gestion des risques

Salle Marie Mauron

Mardi 21 septembre : 17h00 - 18h00

Président

George Yadigaroglu, Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich

**Maurice LEMAIRE** (Institut français de mécanique avancée, Clermont Ferrand)  
Approche probabiliste des marges de dimensionnement

**Gilles MOTET** (INSA de Toulouse et Fondation Culture de sécurité industrielle)  
Recherche en concertation : de l'idée à la pratique

**Eric VINDIMIAN** (CEMAGREF Montpellier)  
Politique publique de recherche dans le domaine environnemental

Titre de la présentation :  
Approche probabiliste des marges de dimensionnement

**Maurice LEMAIRE**

**Professeur des Universités**

Institut français de mécanique avancée - Clermont Ferrand et Institut pour la maîtrise des risques

[maurice.lemaire@ifma.fr](mailto:maurice.lemaire@ifma.fr)

---

## Approche probabiliste des marges de dimensionnement

Dans bien des disciplines, une décision est à prendre pour équilibrer une ressource  $R$  et un besoin  $S$ , noté ainsi pour sollicitation en mécanique des structures. Ainsi, la ressource peut être la limite en fatigue d'un matériau et la sollicitation le nombre de cycles de chargement que verra la pièce en service. De même, ce peut être respectivement une tolérance physiologique à une exposition et le nombre des agressions susceptibles d'être reçues.

Chaque fois qu'il est nécessaire de s'assurer qu'une ressource  $R$  est supérieure à un besoin  $S$ , la réponse de l'ingénieur passe tout d'abord par la construction de barrières qui, si elles sont parfaitement étanches, peuvent conduire soit à un manque de disponibilité soit à un coût très important. Une telle réponse implique une certitude tant du maximum du besoin que du minimum de la ressource. Cependant, ces deux quantités sont rarement parfaitement connues et sont souvent représentées par des variables (ou des processus) aléatoires.

Historiquement, la notion de coefficients  $\gamma = R / S > 1$  dits de « sécurité », calibrés par le retour d'expérience, a permis de s'assurer d'une sûreté de fonctionnement avec un succès certain mais aussi des échecs et cela sans apporter la capacité d'analyse des raisons de ce succès. Le rapport  $\gamma$  est fixé par les règles de l'art ou les codes. Une autre approche, équivalente, consiste à définir une marge  $M = R - S > 0$ .

Si les variables  $R$  et  $S$  étaient parfaitement connues, la réponse serait simple mais elles relèvent de larges incertitudes dont une modélisation par l'approche probabiliste est possible. De plus, elles évoluent dans le temps. La notion même de rapport  $g$  est ambiguë car fonction du choix de réalisations  $r_i$  et  $s_j$ . Viser  $R / S > 1$  ou une marge  $M = R - S > 0$ , relève donc d'une analyse probabiliste incluant une probabilité d'échec (dite de défaillance) qui doit nécessairement être acceptée et fixée à un niveau compatible avec les conséquences d'un tel échec.

En s'appuyant sur un modèle stochastique des variables de conception (paramètres matériaux, dimensions, actions) dont dépendent  $R$  et  $S$  à travers un modèle de comportement physique ou autre, les méthodes de fiabilité des structures calculent une probabilité de défaillance  $P_f = \text{Prob}\{R - S \leq 0\}$  et mettent en évidence la liaison entre cette probabilité (ou l'indice de fiabilité) et les paramètres du modèle stochastique. Réciproquement, il est possible de construire une règle pour un ensemble de situations données : c'est la procédure de calibration. Ainsi, à la définition d'une marge empirique globale est substituée celle d'une marge dans laquelle des coefficients « partiels » sont attribués à chaque variable de conception. Ils constituent des mesures de sensibilité de l'importance d'une variable dans l'événement de défaillance. Une telle démarche a été mise en oeuvre pour la rédaction des codes de construction européens EuroCodes (<http://www.eurocode1.com/fr/eurocode1.html>).

L'approche probabiliste des marges permet d'apporter un contenu algorithmique aux règles proposées dans les codes. Il est ainsi possible de mieux comprendre les paramètres qui lient  $R$  et  $S$ .

Références : M. Lemaire, Structural Reliability, ISTE/Wiley, 2009 (chapters 3 and 10) et Approche probabiliste du dimensionnement, Tech. Ing., BM 5 003 et 5 004, 2008

Titre de la présentation :  
Recherche en concertation. De l'idée à la pratique.

**Gilles MOTET**

Professeur à l'INSA de Toulouse

Directeur Scientifique de la Fondation pour une Culture de Sécurité Industrielle (FonCSI)

[gilles.motet@icsi-eu.org](mailto:gilles.motet@icsi-eu.org)

---

La Fondation pour une Culture de Sécurité Industrielle (FonCSI) est une Fondation de recherche reconnue d'utilité publique qui accompagne des travaux de recherche dans le domaine de la sécurité industrielle.

La première partie de l'exposé présentera la démarche suivie par la Fondation pour mettre en valeur les questions de recherche issues des préoccupations de la société, pour mettre en place et accompagner les travaux de recherche, leur validation sur des terrains et leur valorisation afin de rendre leurs résultats accessibles au plus grand nombre.

Dans une seconde partie, nous introduirons les divers travaux financés dans le domaine de la concertation en mettant en valeur la diversité des domaines scientifiques concernés ainsi que leurs apports. Nous indiquerons en quoi l'implication des parties prenantes dans l'élaboration des recherches influence-t-elle sur ces travaux.

Dans une troisième partie, comme exemple, nous mettrons l'accent sur les recherches originales effectuées dans le cadre de la « Conférence riveraine » de Feyzin. Nous présenterons la démarche suivie par ces travaux qui implique l'ensemble des parties prenantes dès la construction du dispositif de concertation puis dans son déroulement.

Pour conclure, nous dévoilerons les questions que désire aborder le prochain Appel à propositions de recherche du nouveau programme de la FonCSI qui sera lancé en décembre 2010.

Titre de la présentation :  
Politique publique de recherche dans le domaine environnemental

**Eric VINDIMIAN**  
**Directeur régional Cemagref Montpellier**  
Cemagref Montpellier  
[eric.vindimian@cemagref.fr](mailto:eric.vindimian@cemagref.fr)

---

Les problématiques environnementales sont extrêmement complexes et multiples. Beaucoup de phénomènes comme l'inquiétante érosion de la biodiversité, les multiples interactions entre les toxiques à faible dose et le monde vivant ou la résilience des systèmes naturels sont encore très imparfaitement compris. Les citoyens et les décideurs politiques sont largement démunis dès lors qu'il s'agit de se construire une opinion, d'accepter des contraintes ou des changements de comportement ou bien de prendre des mesures de prévention, voire de précaution. Les liens entre protection de l'environnement et développement économique sont obscurs également. Dans un modèle classique la contrainte environnementale vient entraver le développement, il faut donc la minimiser afin seulement d'éviter les catastrophes. D'autres voix suggèrent qu'au contraire le développement durable, construit sur le respect des ressources naturelles et une vision de stabilité à long terme est également, et probablement encore plus porteur de prospérité.

Eclairer tous ces débats de société implique une participation active du monde scientifique. Les chercheurs ont bien souvent été à l'origine des grandes alertes sur les problèmes environnementaux. Eux seuls, par leurs observations et leur démarche de compréhension des systèmes peuvent détecter des phénomènes comme la destruction de l'ozone stratosphérique, le changement climatique, l'érosion de la capacité évolutive du monde vivant ou encore l'affaiblissement des capacités de reproduction humaine. Ils sont également des contributeurs majeurs aux solutions pour corriger ces dérives du développement de la place de l'homme sur la Terre.

Elaborer et mettre en œuvre une politique publique de recherche environnementale implique à la fois de préserver la liberté de la science source de découvertes non programmées et d'orienter le développement des connaissances sur les impacts et les solutions dans une logique de développement durable. Cet équilibre subtil implique un dialogue approfondi entre les communautés scientifiques, les citoyens et leurs organisations et les décideurs politiques.



## Session

### Caractérisation du détriment

Salle Marie Mauron

Mardi 21 septembre : 12h00 - 16h40

Présidente

Patsy Thomson, Commission canadienne de sûreté nucléaire, Direction environnement et radioprotection

**Jean Yves BOTTERO** (CNRS, Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement Aix en Provence)  
Les risques environnementaux liés aux nanomatériaux

**Damien PIGA** (IRSN Cadarache - DEI)  
Rémanence du Cs-137 dans l'atmosphère

**Sandrine MASSARIN** (IRSN Cadarache - DEI)  
Effets de l'uranium sur le budget énergétique et conséquences sur la dynamique de population de *Daphnia magna*

**Pierre VERGER** (Université d'Aix-Marseille, Observatoire régional de santé PACA)  
Inégalités sociales et environnement : l'exemple des catastrophes et du bruit environnemental

**Camille METZ** (IRSN Fontenay aux Roses, DRPH)  
Modélisation de la relation dose-réponse aux faibles doses et faibles débits de dose : application sur une cohorte de travailleurs du nucléaire.

Titre de la présentation :

Environmental impacts of nanomaterials : physico-chemical properties and mechanisms disturbing the biological activity in aqueous environment

**Jean Yves BOTTERO**

directeur de recherche au CNRS

Organisme d'appartenance : CEREGE (Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement) UMR 6635 CNRS-Université Aix-Marseille

[bottero@cerege.fr](mailto:bottero@cerege.fr)

---

Among all the contaminants, those from the Nanotechnologies constitute one of the environmental challenges for the next years. The enthusiasm for this technology generates scientific and commercial races at the global scale (market expected in 2012: \$1000 billion).

The new properties of materials at the nanoscale are at the heart of current scientific advances such as drug vectorization, cancerous tumor targeting, replacement of silicon in microelectronics by carbon nanoparticles, or the manufacture of more resistant materials... The main cause for this change in properties is the very high surface to volume ratio of nanoparticles. A 6 nm-nanoparticles has 35% of its atoms on its surface, hence an exceptional interfacial reactivity. It is therefore impossible to simply transfer the physical, chemical, and thermodynamic knowledges on reactions occurring at the solution/microparticles interface to those occurring at the solution/nanoparticles interface (<20-30 nm). Thanks to the unique properties of nanoparticles, nanotechnologies will have a strong positive impact on society, and that they will considerably grow in the near future. However, this growth stirs up awareness that we cannot ignore. In particular, people wonder about the impact of massproduced nanoparticles that could spread into the environment.

To date, scientists master the manufacture and use of nanomaterials, however we do not know what are the risks for humans and ecosystems. No database exists regarding the amounts released within the ecosystems. However, nanoparticles cannot be considered as 'standard' aqueous pollutants. They have a mass, a charge and a surface. Due to their reactivity, their surface atoms are labile, their redox states can change easily, they are highly reactive towards aqueous compounds. It is impossible to study and understand the biological effects of nanomaterials without a good knowledge of their extrinsic and intrinsic physicochemical properties [1]. It is because nanoparticles were seen as 'standard' pollutants that the first nanotoxicology studies often led to contradictory results [2, 3] stirring up controversies among researchers. The properties of nanoparticles able to disturb the biological activity depend on their size, on their mineralogy, their crystallinity, and their surface reactivity [1]. All these parameters affect the toxicity via their oxido-reductive potential, the generation of Reactive Oxygen Species (ROS), their dissolution into toxic ions (e.g. Cd<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Ag<sup>+</sup>), or also the retention of toxic molecules on their surface (e.g. As, Cd, Co).

Références

1. Auffan M, Rose J, Bottero Jy, Lowry G, Jolivet Jp, Wiesner Mr: Towards a definition of inorganic nanoparticles from an environmental, health, and safety perspective. *Nature Nanotechnology* 4, 634-641 (2009).
2. Huczko Mm, Lange H: Carbon nanotubes: Experimental evidence of null risk of skin irritation and allergy. *Fullerene Sci. Technol.* 9, 247-250 (2001).
3. Wareight Db, Laurence Br, Reed Kl, Roach Dh, Reynolds Ga, Webb Tr: Comparative pulmonary toxicity assessment of single-wall carbon nanotubes in rats. *Toxicol. Sci.* 77(1), 117-125 (2004).

## Sujet de la thèse :

Processus engagés dans la rémanence, au niveau du compartiment atmosphérique, des radionucléides artificiels antérieurement déposés

**Damien PIGA**

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DEI/SESURE/LERCM

Tuteur :

Olivier MASSON

Ecole doctorale :

Aix-Marseille - Sciences de l'environnement - ED251

Directeur de thèse :

Serge DESPIAU-PUJO

Financement :

IRSN

---

Les stations du réseau OPERA-Air permettent de suivre les variations des niveaux d'activité dans les aérosols français. Le Cs-137 (30,07 ans de période), radionucléide issu principalement des expérimentations nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl, est toujours présent à l'état de traces dans l'atmosphère. Afin d'expliquer cette rémanence, cette étude s'est intéressée à identifier et caractériser les mécanismes de production de particules porteuses de radionucléides artificiels. L'analyse statistique de plus de 47 000 rétro-trajectoires de masses d'air établies sur la période 2000-2009, en relation avec les séries temporelles du Cs-137, a permis de localiser et de hiérarchiser les régions participant à la rémanence atmosphérique de ce radionucléide.

Les évènements de remise en suspension à partir d'anciens dépôts sont directement impliqués dans la persistance actuelle du Cs-137. Dans les régions contaminées par l'accident de Tchernobyl, les incendies constituent le processus de remise en suspension le plus significatif durant l'été et à l'origine d'épisodes de transport longue-distance. L'étude approfondie d'un évènement de grande ampleur a permis de caractériser l'impact de ce processus à l'échelle continentale et d'estimer les quantités totales de Cs-137 réintroduit dans l'atmosphère par un tel évènement.

En lien avec les fortes augmentations de la masse totale de particules en suspension, le Sahara apparaît également comme l'une des régions contribuant à la rémanence du Cs-137 dans l'atmosphère en raison des quantités considérables de matière exportée à l'occasion des tempêtes de sables, bien que l'activité massique en Cs-137 de ces particules soit faible.

L'étendue spatiale des régions sources associée aux quantités utilisées et aux mauvaises conditions de dispersion durant hiver font de la combustion du bois de chauffage le troisième processus identifié. Bien que l'efficacité de la ventilation dans les basses couches de l'atmosphère diminue durant l'hiver et contribue à l'augmentation du niveau ambiant à l'échelle locale, le transport longue-distance de masses d'air provenant de l'est de l'Europe entraîne les augmentations les plus significatives du niveau d'activité en Cs-137.

Au final, cette étude permet d'affiner les prévisions des transferts de contamination en fonction des environnements contaminés pour mieux appréhender l'évolution post-accidentelle à moyen et long termes d'un rejet atmosphérique anormalement élevé.

Sujet de la thèse :

Effet des radionucléides sur le budget énergétique et la dynamique de population de Daphnia Magna et conséquences pour leur transfert dans l'écosystème d'eau douce

Sandrine MASSARIN

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DEI/SECRE/LME

Tuteur :

Frederic ALONZO

Ecole doctorale :

Aix-Marseille II - Sciences de l'Environnement

Directeur de thèse :

Jean-Christophe POGGIALE

Financement :

IRSN

La caractérisation des effets des radionucléides sur des organismes représentatifs des écosystèmes est une étape essentielle dans l'évaluation des risques liés à la présence ou aux rejets de substances radioactives dans l'environnement. Mon travail de doctorat s'inscrit dans ce contexte et il vise plus particulièrement à étudier les effets de l'uranium sur le budget énergétique et la dynamique de population d'un micro-crustacé d'eau douce, Daphnia magna dans le cas d'exposition chronique à faible dose. L'évaluation de la toxicité de l'uranium sur D. magna a reposé sur l'acquisition, en laboratoire, de données d'effets sur la physiologie et les traits d'histoire de vie des individus (survie, nutrition, respiration, croissance somatique, reproduction) au travers d'expositions multigénérationnelles (F0, F1 et F2) à des concentrations de 0, 10, 25 et 75  $\mu\text{gU.L}^{-1}$ . L'intégration des résultats dans un modèle de budget énergétique (DEBtox), décrivant la manière dont l'organisme alloue son énergie à la survie, croissance et reproduction en présence de toxique, a permis de déterminer des NEC (Concentration seuil sans effet) de 10.01, 5.76 et 2.03  $\mu\text{gU.L}^{-1}$  au-delà desquelles le fonctionnement de l'organisme est altéré dans les générations F0, F1 et F2, respectivement. Cette approche a aussi révélé que le mode d'action de l'uranium était un effet sur l'assimilation de la nourriture. L'observation, par microscopie optique, d'altérations importantes de la structure de la paroi du tube digestif et les réductions significatives des taux d'assimilation mesurés par méthode de marquage-trace au carbone 14 de la nourriture ont confirmé ce résultat.

L'intégration des effets observés dans des modèles matriciels type Leslie a permis d'extrapoler les conséquences au niveau du taux de croissance de la population ( $\lambda$ ), critère plus pertinent dans un contexte écologique. Combinée au modèle DEBtox, l'approche prédit la réduction de  $\lambda$  sur la gamme de concentration d'uranium. Cet effet augmente au travers des générations conduisant dès F1 et F2 à une extinction de la population lorsque  $\lambda$  est inférieur à 1 (Figure 1).

Ces résultats montrent la nécessité de prendre en considération les expositions multigénérationnelles dans l'évaluation du risque environnemental. L'utilisation des modèles imbriqués (DEBtox/matrice de Leslie) s'avère être un outil puissant pour évaluer les effets de radionucléides depuis le niveau sub-individuel jusqu'à la population

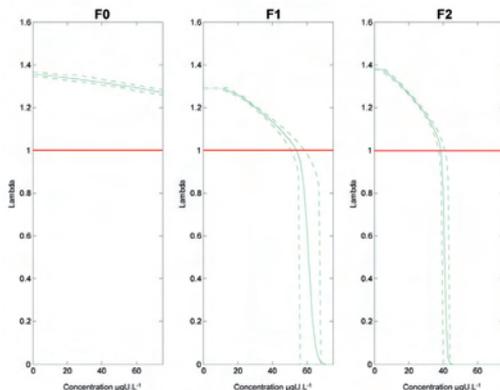


Figure 1 : Evolution du taux moyen de croissance de la population ( $\lambda$ ) et de son intervalle de confiance à 95% sur les trois générations successives de Daphnia magna (F0, F1 et F2) en fonction de la concentration d'exposition en uranium, avec un effet de l'uranium sur l'assimilation comme mécanisme toxicologique d'action

Titre de la présentation :

Inégalités sociales et environnement : l'exemple des catastrophes et du bruit environnemental

**Pierre VERGER**

Médecin épidémiologiste, directeur-adjoint de l'ORS PACA

Observatoire régional de la santé Provence-Alpes-Côte d'azur

UMR 912 Inserm (Sciences Economiques & Sociales, Systèmes de Santé, Sociétés)

[pierre.verger@inserm.fr](mailto:pierre.verger@inserm.fr)

---

Les travaux épidémiologiques publiés depuis quelques années sur les liens entre l'exposition à des facteurs environnementaux et leurs effets sur la santé tendent à s'intéresser de plus en plus au rôle des inégalités sociales. Cette tendance est liée à la diffusion et au succès de la notion « d'injustice environnementale », un concept d'origine américaine. Celui-ci fait référence aux inégalités sociales dans la distribution spatiale de facteurs environnementaux, aux inégalités dans l'impact sanitaire, psychologique, économique et social des pollutions environnementales et aux processus ou mécanismes qui conduisent à ces inégalités. De nombreux travaux ont été publiés ainsi aux Etats Unis, par exemple, sur les inégalités dans la proximité des lieux de résidence vis-à-vis des sites industriels et des sources de pollution fixes, selon les caractéristiques sociales et raciales de la population. Des travaux ont aussi été publiés plus récemment en Europe sur les inégalités sociales observées vis-à-vis des conditions de logement et de l'exposition à la pollution atmosphérique. Quant à la situation en France, les premiers travaux portant explicitement sur l'injustice environnementale ont été publiés en 2008 par une chercheuse en démographie de l'université de l'Iowa.

Dans cette présentation, nous tenterons d'illustrer, en nous appuyant sur les travaux épidémiologiques disponibles en France et ailleurs sur les catastrophes et l'exposition au bruit environnemental, les liens entre caractéristiques sociales, exposition aux risques environnementaux et leurs impact sanitaires. Les problèmes méthodologiques soulevés par ces travaux seront discutés.

Sujet de la thèse :

Effets sanitaires des faibles doses à faibles débits de dose : modélisation de la relation dose-réponse dans une cohorte de travailleurs du nucléaire

Camille METZ

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DRPH/SRBE/LEPID

Tuteur :

Dominique LAURIER

Ecole doctorale :

Paris XI - Santé publique (ED 420)

Directeur de thèse :

Dominique LAURIER

Financement :

Salarié IRSN

L'exposition aux rayonnements ionisants est un facteur de risque de cancer bien connu chez l'homme. Cependant, l'estimation des risques radio-induits après une exposition chronique à de faible dose reste un thème de recherche majeur en radioprotection. La conduite d'études épidémiologiques portant sur des populations soumises à ce type d'exposition permet une estimation directe du risque. Dans cette perspective, le suivi des travailleurs de l'industrie nucléaire est d'un intérêt particulier. Cette thèse vise à estimer le risque de décès par pathologies cancéreuses et non cancéreuses lié à l'exposition aux rayonnements ionisants dans la cohorte des travailleurs du nucléaire du CEA et d'AREVA NC.

Une revue des études épidémiologique portant sur les travailleurs de l'industrie du nucléaire a été menée lors de la première année de thèse et a conduit à la publication de deux articles scientifiques. Une première analyse descriptive du risque de décès dans la cohorte a été effectuée lors de la première année de thèse et les résultats ont été présentés à l'oral au congrès de la Société Française de Radioprotection (SFRP). La reconstitution des données dosimétriques a été achevée au début de la deuxième année de thèse. L'analyse du risque de décès par pathologie cancéreuse et non cancéreuse en fonction de la dose de rayonnement ionisant reçue dans la cohorte CEA-AREVA NC a été réalisée. Une association significative avec la dose de rayonnement ionisant a été observée pour les décès par leucémies mais pas pour les décès par cancer hors leucémie. Des analyses complémentaires sont actuellement en cours, principalement afin de vérifier la sensibilité des résultats à la méthodologie utilisée. Un article présentant les résultats de l'analyse descriptive du risque de décès dans la cohorte et du risque de mortalité par cancer hors leucémie associée à la dose reçue est en cours de rédaction.

Au cours de la troisième année de thèse, il est prévu d'analyser plus en détail le risque de leucémie associée à la dose de rayonnement ionisant. En particulier, les variations du risque en fonction de plusieurs variables d'intérêts, par exemple du temps depuis l'exposition et de l'âge à l'exposition, seront étudiées.

TOUS CANCER HORS LEUCEMIE

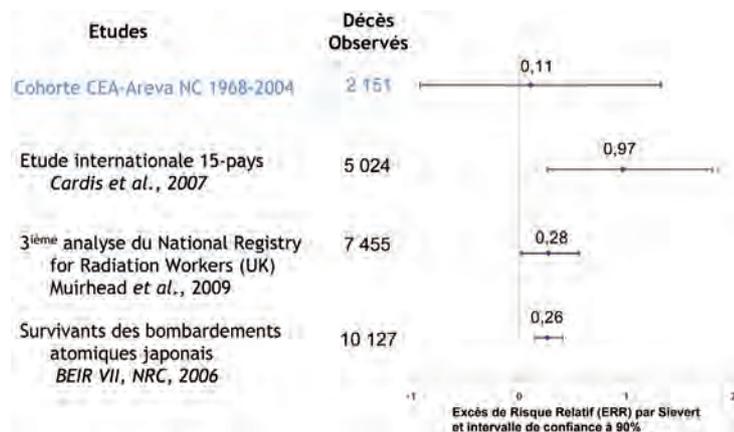


Schéma : Comparaison de l'Excès de Risque Relatif (ERR) par Sievert estimé dans la cohorte des travailleurs du nucléaire CEA-AREVA NC pour la mortalité par cancer hors leucémie à ceux estimés dans les études faisant référence dans le domaine à l'heure actuelle. Un ERR de 0,20 Sv signifie une augmentation du risque de 20 % pour 1 Sv.

# Session

## Analyse et gestion des risques

Salle Marie Mauron

Mercredi 22 septembre : 8h20 - 10h00

Président de session

Bernard Bonin, membre du Conseil scientifique de l'IRSN  
CEA Saclay

**Didier CHAMPION** (directeur DEI) - Les recherches dans les sciences de l'environnement à l'IRSN

**Ali GANDOMZADEH** (doctorant DEI)

Interaction dynamique sol-structure : influence des non linéarités de comportement du sol

**Nathalie DUFOUR** (doctorante ENTPE)

Comportement poro-viscoplastique endommageable des cavités souterraines : application au stockage des déchets

**Gonca OKAY** (doctorante DEI)

Caractérisation de l'état microstructural et hydrique des géomatériaux argileux par l'étude de leurs propriétés électromagnétiques basses fréquences.

Sujet de la thèse :

Interaction dynamique sol-structure : influence des non linéarités de comportement du sol.

**Ali GANDOMZADEH**

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DEI/SARG/BERSSIN

Tuteur :

Fabian BONILLA

Ecole doctorale :

Marne la Vallée - Matériaux, ouvrages, Durabilité, environnement et structure ED411

Directeur de thèse :

Jean-François SEMBLAT

Financement :

Cofinancement LCPC

---

Dans l'analyse sismique d'une structure fondée sur le rocher, le mouvement attendu à sa base est peu différent de celui qui serait enregistré au même point en l'absence de la structure. Pour étudier la réponse de la structure considérée, il suffit alors d'imposer la sollicitation sismique de référence à la base. En revanche, dans le cas d'une fondation sur du sol, il faut généralement tenir compte de deux phénomènes différents. Le premier concerne la capacité du sol à modifier soit les amplitudes, soit le contenu fréquentiel des ondes sismiques incidentes. Le deuxième concerne l'interaction sol-structure qui conduit d'une part à une modification supplémentaire du mouvement sismique à la base de la structure et d'autre part, à une modification du champ d'onde dans le sol.

Dans ce contexte, plusieurs hypothèses sont habituellement faites pour résoudre le problème de la réponse d'une structure fondée sur un sol. Parmi ces hypothèses, celle supposant un comportement linéaire du sol est une des plus contestées car elle n'est évidemment valable qu'à un niveau de déformation très faible. Les distorsions induites par un mouvement sismique d'amplitude significative peuvent faire des incursions hors du domaine d'élasticité et influencer les interactions dynamiques avec la structure. Du fait des non linéarités de comportement du sol, il est possible d'obtenir des amplitudes moindres à fréquence moyenne et haute, l'amplitude à basse fréquence pouvant, a contrario, fortement augmenter (comparativement au cas linéaire). Ces effets conduisent donc à une évolution de la raideur à la base de la structure d'une part et de la dissipation énergétique dans le sol d'autre part.

L'objectif de cette thèse concerne la modélisation numérique de l'interaction dynamique sol-structure en tenant compte des non-linéarités de comportement du sol. Une partie du travail a donc été consacrée à l'implémentation numérique d'un modèle de comportement dynamique non linéaire adapté au cas des sols (CESAR-LCPC). Le modèle implémenté a aussi été validé avec différents outils de modélisation numérique. Une étude paramétrique sur l'effet de la non linéarité du sol sur l'ISS supposant différents types de structure et de profils de sol est en cours de finalisation. A l'aide de cette étude on est capable de quantifier l'effet des non linéarités du sol sur l'ISS.

Sujet de la thèse :

Comportement poro-viscoplastique endommageable des cavités souterraines : application au stockage des déchets radioactifs

**Nathalie DUFOUR**

Date de début :

10-2008

Organisme :

ENTPE/DGCB

Ecole doctorale Université de Lyon / MEGA

Directeur de thèse :

Wong Kwai Kwan

Financement :

fonctionnaire MEDDM

L'objectif d'un stockage souterrain de déchets radioactifs est d'isoler les radioéléments de la biosphère pendant la durée nécessaire à leur décroissance. Le vecteur de transport principal étant l'eau, il est nécessaire d'en maîtriser le régime d'écoulement souterrain. Au cours de l'examen du Dossier 2005 « Argile » de l'ANDRA (agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs), la question de l'effet de comportement différé d'un massif encaissant sur des ouvrages remblayés et saturés en eau, notamment la possibilité que le fluage de la roche induise un gradient hydraulique supplémentaire autour des ouvrages, s'est posée.

Notre travail propose une approche théorique et numérique de cette question dans un cadre poromécanique. La présence de remblai dans la cavité et la dégradation progressive du revêtement sont considérées. Le couplage hydromécanique est étudié dans une démarche progressive, allant des modèles les plus simples vers les plus complexes.

Des solutions analytiques, que nous avons élaborées dans le cadre de la poroélasticité par la méthode des transformées de Laplace, nous ont permis de conforter des modélisations numériques plus sophistiquées réalisées à l'aide du code de calcul aux éléments finis Cast3M et prenant en compte, par exemple, le fluage et l'endommagement de la roche. Nous avons également justifié notre approche du point de vue de la thermodynamique.

Cette modélisation numérique nous donne accès aux évolutions des champs hydromécaniques en tout point du système étudié. Ainsi, l'effet du fluage ou de l'endommagement du massif encaissant a pu être mis en évidence, de même que l'influence du mode de rupture (lente ou brutale) du revêtement ou celle du compactage du remblai.

Sujet de la thèse :

Caractérisation de l'état microstructural et hydrique des géomatériaux argileux par l'étude de leurs propriétés électromagnétiques basses fréquences.

**Gonca OKAY**

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DEI/SARG/LR2S

Tuteur :

Justo CABRERA

Ecole doctorale :

Paris VI - Géosciences et ressources naturelles - ED 398

Directeur de thèse :

Nicolas FLORSCH

Financement :

IRSN

---

Lors de ces trois années de thèse, par l'intermédiaire des méthodes géophysiques de type géoélectrique, nous avons cherché à caractériser les zones endommagées autour des ouvrages du site expérimental de Tournemire (Aveyron, France). Ce travail de thèse qui s'inscrit dans le cadre de la mission d'expertise de l'IRSN sur le projet de stockage géologique profond, proposé par l'ANDRA dans le site de Bure (Meuse/Haute Marne), a abordé plusieurs problématiques :

1. La caractérisation de l'extension spatiale de la zone endommagée dans la roche argileuse (EDZ : Excavation Damaged Zone)
2. La détection des hétérogénéités naturelles ou artificielles (dues au creusement) dans l'EDZ.
3. Le suivi (monitoring) de l'évolution de l'EDZ en paroi non revêtue ou avec un radier bétonné.
4. L'impact d'une excavation récente sur les propriétés physiques de l'argilite.

Les méthodes de Résistivité électrique et de Polarisation Provoquée (PP) dans les domaines temporels et spectraux ont été privilégiées afin d'obtenir des tomographies électriques (2D) du site. Ces méthodes permettent d'imager ici en 2D la distribution spatiale de trois paramètres physiques : la résistivité électrique ( $\rho$ ), la chargeabilité  $m$  (mV/V) et la phase ( $\phi$  en mrad). Ces images ou modèles de résistivités inversées ont permis de définir l'extension de l'EDZ à la fois à partir d'un radier non revêtu et à la fois à partir d'un radier bétonné (1,3). On a observé que l'EDZ avait une extension plus importante au niveau du radier (de l'ordre de 80 cm) qu'aux parois des galeries (30 cm) et qu'elle était moins développée au niveau du radier pour une galerie récemment creusée (50 cm) (4). L'EDZ au radier a une origine mécanique et correspond à une zone fracturée. Au fur et à mesure, les perturbations hydriques affectent cette zone (désaturation se propageant à partir des fractures artificielles) (3). Les modèles de résistivités inversées n'ont pas permis de discriminer convenablement les perturbations mécaniques (micro-fractures à l'échelle millimétrique à centimétrique) et de celles de nature hydrique (désaturation de la roche se traduisant par une diminution de son degré de saturation). Sur la base de travaux expérimentaux menés au laboratoire et de nos données acquises sur le site de Tournemire, il semble que le paramètre chargeabilité soit plus apte à opérer cette discrimination. Ce résultat nouveau justifierait alors l'utilité d'appliquer en parallèle les deux méthodes (résistivité et PP). Nos travaux ont également montré que la chargeabilité et la phase permettaient d'identifier les hétérogénéités suivantes dans la matrice argileuse : les fractures d'origine tectonique et les nodules calcaires (2).

# Session plénière

## Sûreté et risque social

Salle Marie Mauron

Mercredi 22 septembre : 10h30 - 12h30

Président de session

Michel Quintard, Président du Conseil scientifique de l'IRSN  
IMF Toulouse

**Jean Claude MICAELLI** (directeur DPAM) Les recherches en sûreté à l'IRSN

**Reza LAHIDJI** (doctorant DSDRE) L'acceptabilité des risques sociaux

**Miloud CHAHLAFI** (doctorant DPAM) Modélisation du rayonnement en présence d'un gaz absorbant dans un cœur de réacteur dégradé.

**Franck LELONG** (doctorant DPAM) Expérimentation, modélisation et simulation de l'impact de gouttes d'eau sur le gainage gonflé des assemblages d'un cœur de REP en situation d'Accident de Perte de Réfrigérant Primaire.

**Mickaël KNOLL** (Post-doctorant DSR) Fragilisation par les métaux liquides étudiée en modélisation par éléments finis. Evaluation du risque encouru par les cuves de réacteurs nucléaires en situations de fusion de cœur

Sujet de la thèse :

L'acceptabilité des risques sociaux

**Reza LAHIDJI**

Date de début :

12-2008

Laboratoire :

DSDRE/CVI

Tuteur :

Patrick MOMAL

Ecole doctorale :

Paris I - Sciences de l'organisation et de la décision

Directeur de thèse :

Philippe MONGIN

Financement :

IRSN

---

La thèse a débuté par le constat d'une incompatibilité entre la pratique de l'évaluation du risque et la théorie économique de la décision, deux outils pourtant façonnés pour la même fonction, l'aide à la décision en situation d'incertitude. L'évaluation du risque est souvent centrée sur ce que les connaissances scientifiques et techniques permettent de dire d'un danger strictement défini. Elle a fait l'objet de nombreuses critiques d'une part pour sa tendance à laisser dans l'ombre les limites de ces connaissances, de l'autre pour ne guère chercher à rendre compte du problème de décision dans sa globalité. La théorie de la décision, de son côté, considère dans ses prémisses que les issues possibles d'une situation incertaine, leurs probabilités de réalisation et les actions envisageables sont déjà déterminées. Elle est ainsi mal équipée pour comprendre les complexités de l'évaluation du risque, et l'utilité de notions telles que la gestion déterministe du risque ou le principe de précaution.

Dans son introduction générale, la thèse lie cette incompatibilité à la séparation historique entre une représentation causale du risque, à l'oeuvre en santé publique ou en génie civil, et une représentation essentiellement probabiliste, développée en assurance et en finance. La thèse tente ensuite de créer un pont entre ces deux courants à l'aide de la théorie des réseaux bayésiens causaux (RBC) et à partir de l'exemple de la sûreté nucléaire. Le premier chapitre élabore un modèle de RBC qui rend compte à la fois de l'approche déterministe et de l'approche probabiliste de la sûreté nucléaire. Le deuxième chapitre étend ce modèle en direction de la théorie de la décision, et montre qu'il permet de généraliser les résultats centraux de cette théorie. Le troisième chapitre détaille la dialectique entre représentation causale et représentation probabiliste dans le cas des agressions externes. Le quatrième chapitre, enfin, ouvre le modèle aux interactions stratégiques entre un principal (agence de régulation) et un agent (opérateur) en s'intéressant au cas du prolongement de la durée de vie des centrales.

Sujet de la thèse :

Modélisation du rayonnement en présence d'un gaz absorbant dans un cœur de réacteur dégradé.

Miloud CHAHLAFI

Date de début :

01-2008

Laboratoire :

DPAM/SEMCA/LESAM

Tuteur :

Laurent FOUCHER

Ecole doctorale :

Ecole centrale de Paris - Sciences pour l'ingénieur

Directeur de thèse :

Jean TAINÉ

Financement :

Cofinancement AREVA NP

En situation accidentelle, le cœur du réacteur nucléaire peut atteindre de très importantes températures. Il est primordial de bien estimer les échanges par rayonnement car ce mode de transfert thermique devient prépondérant à très fortes températures. La thèse a pour but de proposer un modèle qui permet d'estimer les échanges radiatifs dans un cœur de réacteur nucléaire dégradé.

Dans une première partie, les propriétés radiatives du réacteur nucléaire expérimental PHEBUS-FPT ont été estimées via une technique statistique Monte Carlo. Nous avons estimé avec une grande précision les coefficients directionnels d'extinction et la fonction de phase générale du milieu pour 11 géométries dégradées différemment (voir figure). On démontre que le milieu étudié ne vérifie pas la loi de Beer du rayonnement. En deuxième partie, nous avons résolu l'équation de transfert du rayonnement par une méthode des perturbations. Les flux radiatifs s'expriment rigoureusement sous la forme de flux de conduction caractérisés par un tenseur de conductivités radiatives. Les conductivités ont été corrélées en fonction des propriétés géométriques du milieu. Les résultats ont été présentés lors de la conférence internationale sur le rayonnement 6th International Symposium on Radiative Transfer-RAD10 (Antalya, Turquie, 12-19 Juin 2010) et soumis au Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. Enfin, un modèle plus général a été établi afin de considérer l'effet de la vapeur d'eau et des gouttelettes d'eau sur le rayonnement. Les propriétés radiatives de la vapeur d'eau sont calculées par un modèle CK et les propriétés radiatives des gouttelettes d'eau sont calculées en utilisant la théorie de Mie. Une équation de transfert à deux températures a été établie et résolue par une méthode des perturbations. On estime des conductivités radiatives générales, liées aux gradients de température de la phase solide et de la phase vapeur.

De plus, on calcule précisément les puissances radiatives échangées entre les phases. Un article est en cours de rédaction. Il sera soumis à International Journal of Heat and Mass Transfer (IJHMT).

Les résultats des conductivités radiatives et des puissances radiatives échangées entre les phases seront intégrées prochainement dans le logiciel ICARE/CATHARE (IRSN).

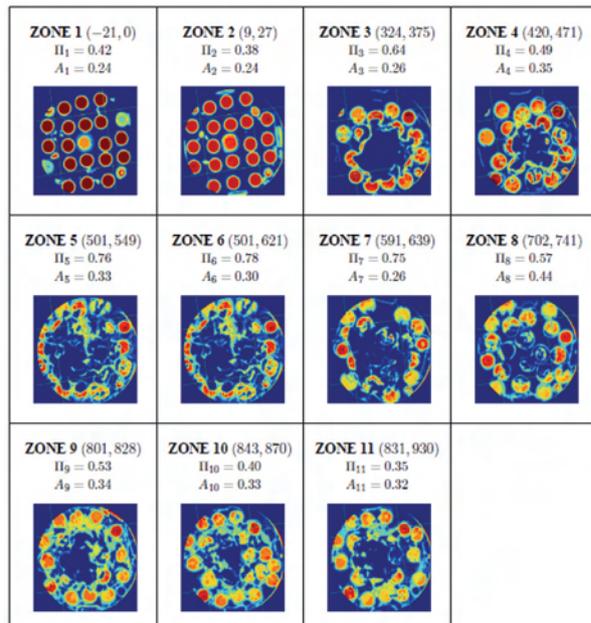


Figure :  $\gamma$ -Tomographies issues de l'essai PHEBUS-FPT1, chaque zone est délimitée axialement par  $(z_{min}, z_{max})$ (mm) et caractérisée par les valeurs associées de la porosité  $\pi$  et de la surface spécifique  $A$  ( $mm^{-1}$ )

Sujet de la thèse :

Expérimentation, modélisation et simulation de l'impact de gouttes d'eau sur le gainage gonflé des assemblages d'un cœur de REP en situation d'Accident de Perte de Réfrigérant Primaire.

**Franck LELONG**

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DPAM/SEMCA/LEMAR

Tuteur :

Nathalie SEILER

Ecole doctorale :

Nancy I - Energie, Mécanique, Matériaux - ED409

Directeur de thèse :

Michel GRADECK & Denis MAILLET

Financement :

Cofinancement EDF

---

Au cours d'un transitoire d'Accident de Perte de Réfrigérant primaire (APRP), la vaporisation de l'eau dans la cuve d'un réacteur nucléaire conduit à l'assèchement de la paroi des gaines, à l'augmentation de la température des crayons de combustibles et à leur gonflement thermomécanique. Ce gonflement peut être à l'origine d'un bouchage significatif d'une partie du cœur et compromettre son refroidissement lors de la phase de renoyage où l'eau injectée via les systèmes de sécurité pénètre dans le bas du cœur. Lors de cette phase de renoyage, la vaporisation importante de l'eau produit un fort débit vapeur qui arrache et entraîne des gouttelettes dans les zones bouchées. Les gouttes d'eau, de faible diamètre et de faible vitesse d'impact, rebondissent sur le crayon du fait de la création instantanée d'un fin film de vapeur entre la goutte et le crayon. Un des enjeux de sûreté est d'évaluer les capacités de refroidissement des crayons par l'impact des gouttes d'eau.

Pour ce faire, la première partie de cette thèse a été dédiée à une étude expérimentale, représentative d'une situation d'APRP, qui a été réalisée au LEMTA de Nancy. Le flux de refroidissement d'un train de gouttes, impactant la face avant d'une paroi chaude, a été estimé par des techniques inverses à partir des profils de température, mesurés en face arrière de la paroi. Les résultats expérimentaux ont permis, au cours de la seconde partie de cette thèse, la validation du modèle de transfert thermique goutte/paroi développé à l'IRSN en vue de son introduction dans le code de thermo-hydraulique à l'échelle locale : Neptune\_CFD. La modélisation du flux, échangé entre la goutte et la paroi, est basée sur la réalisation de bilans de masse et de quantité de mouvement dans le volume de contrôle constitué par la fine couche de vapeur située sous une goutte lors de son impact. Un changement d'échelle dans la modélisation a ensuite été réalisé pour remonter au flux, moyenné en espace et en temps, échangé par une population de gouttes. Des simulations ont finalement été réalisées sur des géométries simplifiées. La cohérence des résultats a été vérifiée.

Le but final de ce travail de thèse, qui est la simulation de cas test de refroidissement de crayons en phase de renoyage d'un APRP dans une configuration comprenant des crayons ballonnés (taux et longueurs des bouchages variables), est en cours de réalisation.

Sujet du post-doctorat :

Fragilisation par les métaux liquides étudiée en modélisation par éléments finis. Evaluation du risque encouru par les cuves de réacteurs nucléaires en situations de fusion de cœur

**Mickaël KNOLL**

Date de début :

08-2009

Laboratoire :

DSR/SAGR/BPhAG

Tuteur :

Grégory NICAISE

Post-doctorat financé par la recherche exploratoire

---

La fragilisation par les métaux liquides (FML) se traduit par une modification radicale du comportement mécanique de substrats métalliques, sous contraintes, en présence de métal liquide. Ainsi, dans des conditions thermomécaniques identiques, un acier présentant un comportement ductile peut se rompre de façon fragile s'il est en contact avec un métal fondu. Le phénomène s'apparente ainsi à une transition ductile-fragile induite par effet d'environnement. La rupture peut être amorcée en dessous des limites d'élasticité du matériau et se propager brutalement, à une vitesse de l'ordre de plusieurs m.s<sup>-1</sup>.

Ce phénomène entre dans la catégorie des effets d'environnement susceptibles d'influencer le comportement mécanique des matériaux qui y sont soumis, tels que la corrosion sous contraintes ou encore la fragilisation par l'hydrogène, mais se démarque de ces derniers par un mécanisme n'impliquant aucune diffusion atomique de l'environnement dans le substrat. Une simple adsorption du métal liquide en surface est suffisante pour induire la fragilisation et mener à des ruptures catastrophiques n'ayant donné aucun signe avant-coureur.

Dans le cadre de la sûreté nucléaire, la problématique de la FML peut concrètement se poser dans certaines situations d'accidents graves comme les cas de fusion de cœur sur les REP au cours desquels on peut retrouver à plus ou moins court terme un bain métallique fondu constitué du combustible, des gaines de zirconium, des aciers de structure et des barres de commande en contact avec la cuve.

Dans ce cadre, l'objectif du travail de recherche est de modéliser par une approche éléments finis le phénomène de FML sur un acier dont la loi de comportement mécanique est connue en environnement neutre et dans des conditions représentatives d'un accident grave. Les phases de calibration et de validation des lois de comportements matériaux et des modèles numériques ont permis une meilleure compréhension des essais expérimentaux ayant permis de mettre en évidence la FML en terme de distribution de contraintes (compétition concentration/triaxialité des contraintes) et par conséquent des conditions susceptibles d'initialiser et/ou d'inhiber le phénomène (compétition fragilité/ductilité et recouvrement de ductilité). A partir de ces résultats, une première évaluation du risque encouru par les cuves de réacteurs en situation de fusion de cœur peut être réalisée.



# Session plénière

Sciences de la santé

Salle Marie Mauron

Mercredi 22 septembre : 13h45 - 16h45

Président de session

Patsy Thompson, Membre du Conseil scientifique de l'IRSN  
Commission canadienne de sûreté nucléaire

**Patrick GOURMELON** (directeur DRPH) Les recherches en radioprotection à l'IRSN

**Estelle COURAGEOT** (doctorante DRPH) Reconstitution dosimétrique physique d'accident radiologique par simulations numériques à l'aide d'outils associant un modèle anthropomorphe à un code de calcul Monte Carlo

**Cédric GOLABECK** (post-doctorant DRPH) Etude et développement d'une micro-TPC à He gazeux pour la mesure de reculs nucléaires de faibles énergies, utilisée conjointement dans le cadre de la métrologie neutron et de l'astrophysique

**Caroline ROUAS** (doctorante DRPH) Etude des mécanismes mis en jeu lors d'une exposition par les radionucléides et les métaux lourds sur le métabolisme des médicaments in vivo et in vitro.

**Marco ALVES VALENTE** (doctorant DRPH) Variabilité de la réponse lymphocytaire aux faibles doses de rayonnements ionisants

**Rym ABDERRAHMANI** Rôle de l'inhibiteur des activateurs du plasminogène de type I (PAI-1) dans la mort radio-induite des cellules endothéliales

**Karl BLIRANDO** Rôle des mastocytes et de leurs interactions avec le système des endothélines dans le développement des lésions radiques précoces et tardives de la paroi digestive.

Sujet de la thèse :

Reconstitution dosimétrique physique d'accident radiologique par simulations numériques à l'aide d'outils associant un modèle anthropomorphe à un code de calcul Monte Carlo

Estelle COURAGEOT

Date de début :

11-2007

Laboratoire :

DRPH/SDE/LDRI

Tuteur :

Christelle HUET

Ecole doctorale :

Paris XI - STITS (Sciences et Technologies de l'Information des Télécommunications et des Systèmes), ED422

Directeur de thèse :

Bernard AUBERT

Financement :

IRSN

Lors d'un accident radiologique dû à une source externe, plusieurs techniques sont associées afin de déterminer la dose reçue par la victime. L'une d'entre elles est la reconstitution dosimétrique physique numérique. Afin de procéder à ces reconstitutions dosimétriques numériques, le Laboratoire de Dosimétrie des Rayonnements Ionisants a développé un outil nommé SESAME qui associe des fantômes voxélisés au code de calcul Monte Carlo MCNP(X). L'objectif de cette thèse est de développer de nouvelles fonctionnalités dans SESAME permettant en particulier :

- de prendre en compte la morphologie et la posture de la victime,
- la reconstitution d'accidents en radiothérapie externe.

Au cours de cette dernière année de thèse, le travail a consisté à valider expérimentalement la procédure de modification de posture et de morphologie des fantômes voxélisés développée pendant les deux premières années [1] ainsi qu'à finaliser l'étude de faisabilité concernant la reconstitution d'accidents en radiothérapie externe.

La validation expérimentale a été réalisée à l'aide d'un mannequin physique anthropomorphe Rando-Alderson équipé de dosimètres dont le bras a été levé et sous lequel une source d'AmBe a été placée [2]. Cette configuration d'irradiation a ensuite été modélisée à l'aide d'un fantôme voxélisé modifié créé selon la procédure mise en place à partir des images scanner du mannequin anthropomorphe Rando-Alderson. La comparaison des doses dues aux neutrons et aux photons obtenues expérimentalement et celles calculées a permis de mettre en évidence une bonne concordance des résultats. Ceci a donc permis de valider complètement la nouvelle procédure de construction de fantômes voxélisés modifiés faisant appel à des fantômes NURBS.

En ce qui concerne l'étude de faisabilité concernant l'implémentation d'un module dans SESAME dédiée à la radiothérapie externe, deux modèles d'accélérateur linéaire Clinac 2100C (6 MV et 25 MV) (Figure 1) ont été modélisés à l'aide du code de calcul Monte Carlo MCNPX. La modélisation a été ajustée à partir de données expérimentales. Suite à ces validations, une série d'optimisations a été effectuée afin d'obtenir ce type de résultat dans un temps acceptable pour une reconstitution d'accident. A terme, il est envisagé d'implémenter dans SESAME un nouveau module dédié à la radiothérapie externe incluant au moment de la création du fichier d'entrée au format MCNPX, les optimisations mises en place.

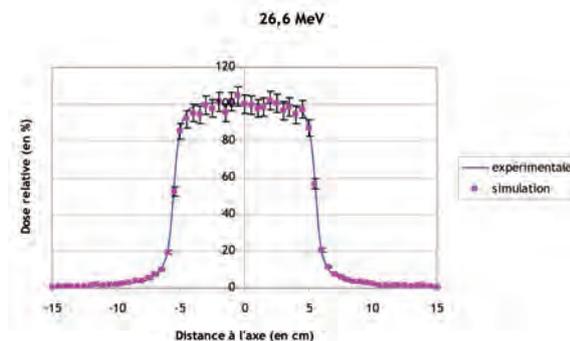


Figure 1 : Profils expérimental (trait plein) et simulé (points) pour le Clinac 2100C 25MV

Sujet du post-doctorat :

Etude et développement d'une micro-TPC à He gazeux pour la mesure de reculs nucléaires de faibles énergies, utilisée conjointement dans le cadre de la métrologie neutron et de l'astrophysique

Cédric GOLABECK

Date de début :

Laboratoire :

Tuteur :

09-2009

DRPH/SDE/LMDN

Léna LEBRETON

---

Une des activités principales du Laboratoire de Métrologie et de Dosimétrie des Neutrons (LMDN) est le développement d'un plateau technique produisant des champs neutroniques mono-énergétiques ou étendus ; ces champs permettent l'étalonnage de dosimètres et de détecteurs de neutrons. L'installation AMANDE produit des champs de neutrons mono-énergétiques entre 2 keV et 20 MeV avec une qualité métrologique. La reconnaissance de cette installation comme installation de référence nécessite de déterminer, de manière absolue, les caractéristiques en énergie et en fluence des champs de neutrons produits.

Dans ce cadre, le LMDN développe, en partenariat avec le Laboratoire de Physique Subatomique et Corpusculaire de Grenoble (LPSC), un détecteur gazeux nommé  $\mu$ TPC (Time Projection Chamber) constituée d'une anode pixélisée micromegas. Celui-ci est voué à devenir étalon primaire pour la mesure des champs neutroniques de basses énergies (2 keV - 5 MeV) sur l'installation AMANDE. Le principe de détection, basé sur le télescope à protons de recul, repose sur la mesure de l'énergie et de l'angle de diffusion des noyaux de recul créés par diffusion élastique des neutrons.

A l'aide de codes simulant la réponse du détecteur, une méthode expérimentale permettant de calculer le flux neutronique a été développée. Une campagne d'expérience a été réalisée sur AMANDE en juin 2010 ; les résultats ont été exploités afin de tester cette méthode.

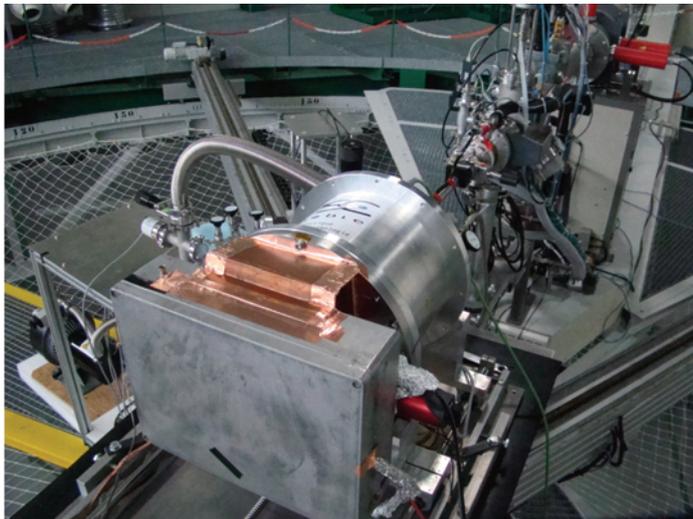


Figure :  $\mu$ TPC lors de la campagne de mesure

Sujet de la thèse :

Etude des mécanismes mis en jeu lors d'une exposition par les radionucléides et les métaux lourds sur le métabolisme des médicaments in vivo et in vitro.

**Caroline ROUAS**

Date de début :

09-2007

Laboratoire :

DRPH/SRBE/LRTOX

Tuteur :

Yann GUEGUEN

Ecole doctorale : Paris XI - Innovation thérapeutique : du fondamental à l'appliqué ED425

Directeur de thèse :

Marc PALLARDY

Financement :

IRSN

---

L'uranium est un métal lourd naturellement présent dans la croûte terrestre. L'utilisation d'uranium appauvri (UA) à des fins civiles et militaires conduit à la potentialisation de l'exposition de la population par ingestion. Ce travail s'inscrit dans le cadre du programme ENVIRHOM qui évalue les risques liés à l'exposition chronique des radionucléides sur la santé humaine.

Des travaux préalables ont montré que parmi les cibles de l'UA figurent deux protagonistes impliquées dans la détoxification de l'organisme : le rein et le foie. Le but de cette thèse est de d'explorer, in vivo et in vitro, l'action de l'UA sur ces deux organes.

Dans le but de mimer une contamination chronique de l'organisme à une dose environnementale, le modèle in vivo est basé sur une exposition pendant 9 mois de rats males adultes à l'UA (40 mg/L).

In vivo, les résultats ont montré que ces conditions expérimentales n'induisent ni une néphrotoxicité ni une sensibilité du rein à exacerber une toxicité rénale induite par la gentamicine. Concernant le foie, l'UA induit des modifications de l'expression génique de certaines enzymes du métabolisme des xénobiotiques (EMXs ; dont particulièrement CYP3A). Ces modifications ne sont responsables de perturbations de la pharmacocinétique du paracétamol que lorsque ce dernier est administré à une dose hépatotoxique. Les résultats in vitro suggèrent que ces modifications des EMXs proviennent vraisemblablement d'un effet indirect de l'UA couplé à des phénomènes d'adaptation de l'organisme impliquant des acteurs interagissant avec différentes cibles dont les EMXs.

Par ailleurs, l'approche in vitro souligne le potentiel cytotoxique de l'UA sur les cellules hépatiques et rénales et a permis sa localisation cellulaire (cytoplasme et noyau) sous forme soluble et/ou précipitée.

Ces résultats ouvrent de nouvelles pistes de recherche tant sur la compréhension des mécanismes d'entrée de l'uranium dans la cellule que sur ceux impliqués dans la régulation de l'expression des EMXs. Par ailleurs, l'étude des effets de l'uranium à différentes doses supérieures à celles étudiées jusqu'à présent devrait permettre de mieux estimer le risque d'une exposition à l'uranium sur les fonctions rénales et hépatiques.

Sujet de la thèse :

Variabilité de la réponse lymphocytaire aux faibles doses de rayonnements ionisants

Marco VALENTE

Date de début du post-doctorat :

01/10/2007

Laboratoire :

DRPH/SRBE/LDB

Tuteur :

Sandrine Roch Lefèvre

Ecole doctorale :

Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/ Ecole doctorale des  
Génomés Aux Organismes (GAO)

Directeur de thèse :

Financement :

EDF

Afin de minimiser les effets secondaires de la radiothérapie en adaptant les paramètres thérapeutiques sur une base individuelle, des études ont tenté de prédire la radiosensibilité des patients par des tests biologiques. Ces tests portent sur la mesure des effets des rayonnements ionisants à différents niveaux: cassures doubles brins, clonogénicité des cellules, apoptose ou recombinaisons chromosomiques. Les résultats de ces tests sont à ce jour contradictoires, ne permettant pas d'avoir une vision intégrée de la mécanistique de la réponse des cellules aux rayonnements ionisants. De plus, la très grande majorité des études de radiosensibilité menées sur les lymphocytes sont faites sur des lignées lymphocytaires ou sur des lymphocytes isolés à partir de gradient de centrifugation, ce qui ne permet pas de prendre en compte les facteurs intercellulaires.

Ainsi, afin d'obtenir une vision intégrée des mécanismes de réponse des lymphocytes aux rayonnements ionisants et, en particulier, de démontrer quel est le lien entre la diminution de l'apoptose, le nombre de cassures initiales, la réparation des cassures double-brins et le nombre d'aberrations chromosomiques observées ; nous proposons de combiner plusieurs approches permettant d'analyser tous ces paramètres sur un même échantillon sanguin.

En ce qui concerne la mesure du nombre de cassures double-brins et leur réparation, un test cellulaire automatisé a été mis en place. Ce test a été comparé aux méthodes manuelles et des résultats similaires ont été obtenus.

Des réponses cellulaires distinctes ont été observées dans les différentes sous-populations de lymphocytes. Deux phénomènes peuvent expliquer ce résultat : une différence de la signalisation ou une cinétique de réparation des cassures double-brins distincte. La cinétique de la réponse des sous-populations lymphocytaires a été suivie pour différents individus.

Afin de mieux comprendre la différence de réponse lymphocytaire à faible dose, une étude a été faite pour évaluer la réponse adaptative à une forte dose, suite à la pré-irradiation à une faible dose. Comme auparavant décrit dans la littérature, cette pré-irradiation a diminué le nombre de translocations chromosomiques. Nos résultats préliminaires montrent que même la signalisation des dommages est modifiée par la pré-irradiation et aurait, donc, un rôle dans la réponse adaptative.

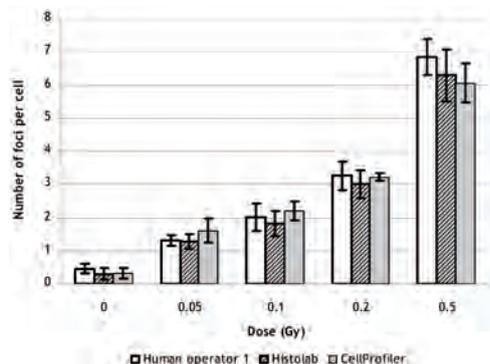


Figure 1 - Comparaison du comptage totalement automatisé des foci gamma-H2AX (en gris) avec les méthodes : manuelle (en blanc) et semi-automatique (hachuré). Résultats obtenus à partir d'échantillons de sang provenant de 3 donneurs sains (Valente M. et al., IJRB 2010, article en cours de soumission).

Sujet de la thèse :

Rôle de l'inhibiteur des activateurs du plasminogène de type I (PAI-1) dans la mort radio-induite des cellules endothéliales

**Rym ABDERRAHMANI**

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DRPH/SRBE/LRTE

Tuteur :

Fabien MILLIAT

Ecole doctorale :

Paris VI - Physiologie et physiopathologie - ED394

Directeur de thèse :

Jean Christophe SABOURIN

Financement :

IRSN

---

La radiothérapie est un outil incontournable de l'arsenal thérapeutique pour lutter contre le cancer mais, comme pour tout traitement, il existe une balance bénéfique (destruction de la tumeur)/risque (toxicité aux tissus sains). Plus de 80% des patients développent des effets secondaires à court terme et 5 à 10% développent des complications tardives, comme les fibroses intestinales dans le cas des radiothérapies des cancers de la sphère abdomino-pelvienne. Il a été montré au laboratoire que l'inhibiteur des activateurs du plasminogène de type-1 (PAI-1) joue un rôle clef dans le développement de ces lésions. Dans un modèle murin d'irradiation localisée de l'intestin grêle, les souris génétiquement déficientes en PAI-1 (koPAI-1) survivent à l'irradiation alors que 50% des souris sauvages meurent dans les 10 jours. Cette survie est associée à des lésions tissulaires moins importantes et une meilleure fonctionnalité intestinale. Ces résultats suggèrent que PAI-1 serait une cible thérapeutique intéressante dans la prévention du développement des lésions intestinales radio-induites. Les objectifs de cette thèse ont été d'une part, d'étudier les effets d'un inhibiteur pharmacologique de PAI-1 (PAI-039) dans ce même modèle d'irradiation et, d'autre part, de comprendre comment PAI-1 est impliqué dans l'initiation des lésions. Des souris sauvages ont été traitées par voie orale avec le PAI-039 ; les effets du traitement ont été comparés à des souris non traitées et à la déficience génétique en PAI-1. Bien que les souris sauvages traitées meurent moins vite que les souris sauvages non traitées, les scores d'atteintes radio-induites sont comparables. De plus, les souris koPAI-1 présentent significativement moins de lésions. Le bénéfice thérapeutique n'est pas optimal avec le PAI-039 mais nos résultats montrent que cette stratégie thérapeutique demeure intéressante et optimisable. D'autre part, l'étude du rôle de PAI-1 dans les dommages aigus a montré une importante différence de radiosensibilité de l'endothélium entre les souris sauvages et les souris koPAI-1. L'intégrité de la microvasculature est conservée chez les souris koPAI-1 comparé aux souris sauvages. L'endothélium joue un rôle déterminant dans la pathogénèse des dommages intestinaux radio-induits et nos résultats montrent que PAI-1 joue un rôle dans l'initiation des lésions en augmentant l'apoptose des cellules endothéliales in vivo.

Sujet de la thèse :

Rôle des mastocytes et de leurs interactions avec le système des endothélines dans le développement des lésions radiques précoces et tardives de la paroi digestive.

**Karl BLIRANDO**

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DRPH/SRBE/LRTE

Tuteur :

Agnès FRANCOIS

Ecole doctorale :

Paris XI - Sciences de la vie et de la santé - ED402

Directeur de thèse :

Isabelle MARTELLY

Financement :

IRSN

Le traitement des cancers par radiothérapie entraîne une toxicité aux tissus sains et des effets secondaires qui limitent la dose d'irradiation délivrée aux tumeurs. Les radiothérapies abdomino-pelviennes entraînent chez 80 % des patients des manifestations digestives aiguës (douleurs abdominales, saignements) et chez 5 à 10% d'entre eux des lésions chroniques comme la fibrose.

Ce travail de thèse vise à étudier le rôle de cellules immunitaires appelées mastocytes dans le développement des lésions radiques intestinales afin de trouver des cibles thérapeutiques dans la prévention et le traitement de ces lésions.

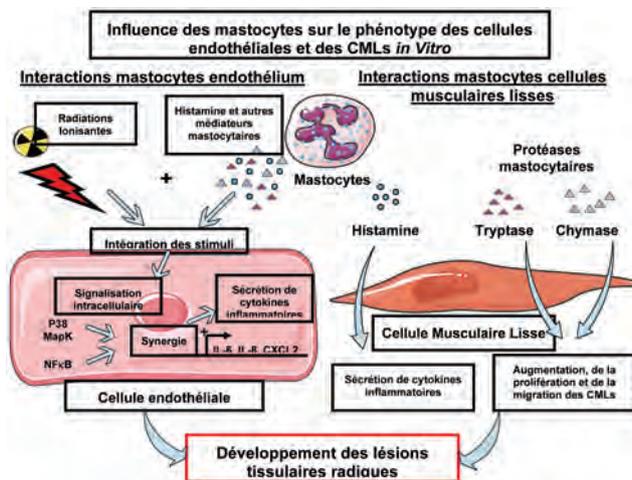
L'observation des mastocytes dans des résections intestinales de patients traités par radiothérapie pour des adénocarcinomes du rectum a permis de corrélérer la sévérité des lésions radiques à une hyperplasie mastocytaire.

Afin d'évaluer le rôle des mastocytes dans la colite radique nous avons utilisé un modèle murin de rectocolite induite par une irradiation localisée de 27Gy. Dans ce modèle la déficience en mastocytes est associée à une diminution des lésions histologiques aiguës et tardives. Au niveau moléculaire la déficience en mastocytes entraîne une augmentation précoce de l'expression de certaines chimiokines. Les lésions histologiques aiguës sont caractérisées par la diminution de l'infiltrat inflammatoire total et l'augmentation relative des neutrophiles circulants et tissulaires. In vitro les médiateurs mastocytaires (Tryptase, Chymase et Histamine) entraînent l'acquisition d'un phénotype pathologique par les cellules musculaires lisses (CML) humaines du côlon.

L'influence des mastocytes sur la réponse de l'endothélium à l'irradiation a été étudiée en utilisant des cellules endothéliales primaires (HUVEC, HMVEC) et une lignée de mastocytes (HMC-1) toutes deux d'origine humaine. L'irradiation des HUVECs en présence de milieu conditionné des HMC-1 potentialise l'expression de médiateurs inflammatoires radio-induits. L'analyse des voies de signalisation impliquées dans cette synergie a révélé le rôle prépondérant joué par les voies P38 MAPK et NFκB.

Ces résultats démontrent le rôle délétère des mastocytes dans l'évolution de la colite radique murine, et suggèrent que leurs interactions avec les CMLs et l'endothélium participent au développement de l'inflammation radique tissulaire. Ils suggèrent également que l'inhibition de la fonction mastocytaire et de la voie de signalisation P38 MAPK peuvent être bénéfiques dans la prévention des lésions radiques intestinales.

Mots-clés : Colite radique, Inflammation, Fibrose, Mastocytes, Endothélium.





# Session plénière

Sûreté (génie civil)

Salle Marie Mauron

Mercredi 22 septembre : 17h20 - 19h10

Président de session

George Yadigaroglu, Membre du Conseil scientifique de l'IRSN  
Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich

**Matthieu BRIFFAUT** (doctorant DSR) Etude des transferts d'air sec et de vapeur d'eau à travers le béton. Effet de la fissuration au jeune âge des armatures et des reprises de bétonnage.

**Corentin AUBERNON** (doctorant DSR) Evolution de la perméabilité du béton sous sollicitations d'accident grave : influence du chargement mécanique, de la température et du fluide percolant.

**The Dung NGUYEN** (doctorant DSR) Apport de la modélisation mésoscopique dans la prédiction des écoulements dans les ouvrages en béton fissuré en conditions d'accident grave.

**Thomas DE LARRARD** (doctorant DSU) Etude probabiliste des propriétés du béton. Applications aux enceintes de confinement et au stockage de déchets radioactifs.

Sujet de la thèse :

Etude des transferts d'air sec et de vapeur d'eau à travers le béton. Effet de la fissuration au jeune âge des armatures et des reprises de bétonnage.

**Matthieu BRIFFAUT**

Date de début :

09-2007

Laboratoire :

DSR/SAMS/BAGCS

Tuteur :

Georges NAHAS

Ecole doctorale :

ENS Cachan - Physique

Directeur de thèse :

Jean-Michel TORRENTI

Financement :

Cofinancement Allocation de Recherche

---

Lors de leur construction, les structures massives et, plus particulièrement, les enceintes de confinement des centrales nucléaires sont soumises à plusieurs types de déformations dues à l'hydratation du béton. En effet, d'une part la réaction chimique du ciment avec l'eau est exothermique et thermo activée, ce qui induit des déformations de dilatation puis de contraction. D'autre part une dépression capillaire étant créée par la consommation d'eau due à l'hydratation du ciment, des déformations de contraction se produisent. Lorsqu'elles sont empêchées par la partie de la structure déjà construite, ces déformations volumiques induisent des contraintes de compression puis de traction pouvant causer une fissuration traversante augmentant alors sensiblement la perméabilité du béton.

Mon travail de thèse consiste donc tout d'abord à caractériser le comportement au jeune âge du matériau que l'on utilise (basé sur la formulation utilisée lors de la construction d'une enceinte) puis à mettre au point un essai permettant d'étudier l'évolution de la perméabilité d'une éprouvette de béton soumise à des déformations empêchées lors de son durcissement. Ce nouvel essai est en fait une évolution de l'essai à l'anneau de retrait empêchant permettant de prendre également en compte les déformations d'origine thermiques. Les essais de caractérisation concernent essentiellement d'un point de vue macroscopique, le retrait (endogène et thermique), le fluage (propre et thermique transitoire) et l'évolution des caractéristiques mécaniques (résistance à la compression, à la traction et module d'élasticité).

La campagne d'essais réalisée avec ce nouveau dispositif, appelé essai à l'anneau thermique actif, et l'analyse numérique de ces essais par des simulations aux Eléments Finis (basé sur un modèle viscoélastique endommageable) a permis d'identifier le coefficient de couplage entre le fluage et fissuration, d'identifier la diminution de résistance en traction due à une reprise de bétonnage, de quantifier l'effet des armatures sur le comportement du béton et d'étudier l'influence de la fissuration sur la perméabilité d'un élément en béton.

Finalement, des simulations numériques d'ouvrages massifs ont mis en exergue l'influence du couplage fluage fissuration et ont validé le caractère prédictif du modèle (et du jeu de paramètres) mis en place.

**Titre du post-doctorat :**

Évolution de la perméabilité du béton sous sollicitations d'accident grave : influence du chargement mécanique, de la température et du fluide percolant.

**Corentin AUBERNON**

Date de début du post-doctorat :

01/09/2007

Laboratoire :

DSR/SAMS/BAGCS

Ecole doctorale :

SPIGA/Ecole centrale nantes

Tuteur :

Georges NAHAS

Financement :

Allocataire

Dans le cadre de la sûreté nucléaire des Réacteurs à Eau Pressurisée, l'enceinte de confinement doit assurer l'étanchéité dans le cas d'un accident grave du type APRP (accident par perte de réfrigérant primaire). Cette structure est en béton précontraint. Durant ce type de cataclysme, le béton est soumis à un chargement mécanique (pression de 5 bars dans l'enceinte), hydrique (vapeur d'eau du circuit primaire) et thermique (150°C). De nombreuses avancées ont été entreprises ces dernières années dans la compréhension de l'évolution de la perméabilité au gaz (azote) du béton. En effet, nous sommes capables de solliciter une éprouvette de béton sec sous un chargement mécanique et thermique et d'en mesurer la perméabilité. Cependant, nous ne connaissons pas actuellement l'évolution de la perméabilité du béton à la vapeur d'eau et à différentes teneurs en eau du matériau.

Dans ce contexte, le travail de thèse consiste à déterminer dans un premier temps la perméabilité du béton à différentes teneurs en eau à l'azote sous chargement mécanique de compression. Cette première campagne expérimentale montre que pour des chargements modérés, la perméabilité diminue avec la teneur en eau du matériau. De plus, on assiste à un décalage vers les contraintes élevées du seuil au-delà duquel se produit une augmentation exponentielle de la perméabilité. Dans un deuxième temps, nous avons conçu un banc expérimental capable de soumettre une éprouvette de béton sec à un chargement mécanique (compression), thermique (140°C) et d'injecter différents mélanges azote-vapeur d'eau à pression et température contrôlées. Cette deuxième campagne expérimentale met en évidence la différence d'écoulement entre la vapeur et l'azote au sein du béton. Ainsi, le régime permanent est atteint en quelques minutes pour l'azote alors qu'il est de plus de dix heures pour la vapeur (dépend des pressions d'injection). Ensuite, le béton est plus imperméable à la vapeur pour de faibles chargements que pour ceux se rapprochant du pic de résistance, où l'on assiste à une augmentation importante du débit de vapeur d'eau. Ce phénomène est attribué à la propagation de fissures et l'augmentation de leurs ouvertures qui permettent l'écoulement de la vapeur.

Sujet de la thèse :

Apport de la modélisation mésoscopique dans la prédiction des écoulements dans les ouvrages en béton fissuré en conditions d'accident grave.

**The Dung NGUYEN**

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DSR/SAMS/BAGCS

Tuteur :

Georges NAHAS

Ecole doctorale :

Pau - Sciences exactes et de leurs applications - ED211

Directeur de thèse :

Christian LA BORDERIE

Financement :

IRSN

La modélisation macroscopique du comportement mécanique du béton a beaucoup évolué et les modèles actuels permettent de prendre en compte des phénomènes de plus en plus complexes. Malgré cela, et particulièrement lorsqu'on veut représenter des phénomènes couplés (fissuration-écoulement en particulier), plusieurs longueurs caractéristiques interviennent et une approche macroscopique peut s'avérer insuffisante. La modélisation de la structure du béton à l'échelle du grain de sable (mésoscopique) couplée aux méthodes de calculs non linéaires permet de rendre compte de phénomènes complexes.

Dans le modèle mésoscopique développé, le béton est représenté comme un milieu hétérogène avec deux phases : la pâte de ciment et les granulats (Figure 1). Chaque phase a des propriétés hydro-mécanique et thermo-mécanique différentes. La forme des granulats est idéalisée sous forme de disques en 2D et de sphères en 3D. Les granulats sont placés aléatoirement dans l'échantillon du béton, en respectant la courbe granulométrique et la ratio volumique granulats/pâte.

Dans un premier temps, le modèle est utilisé en deux dimensions pour optimiser le modèle géométrique de structure interne du béton, la stratégie de maillage et la plus petite taille des granulats à modéliser. Une nouvelle procédure de représentation diffuse du matériau a été développée dans le code éléments finis CAST3M et les résultats des simulations 2D sont analysés dans le cas de sollicitations de traction uniaxiale et de compression uniaxiale. Le modèle de comportement utilisé est un modèle d'endommagement isotrope unilatéral (sans plasticité ni déformations anélastiques) développé par Fichant. Le modèle permet de simuler à la fois le comportement macroscopique mais aussi local avec l'étude de la distribution de la fissuration et de l'ouverture des fissures. Le premier résultat intéressant est que le modèle est capable de décrire la dilatance du béton en compression alors même qu'un simple modèle d'endommagement est utilisé. Le modèle montre également des résultats intéressants sur la transition entre l'endommagement diffus et localisé. Enfin, dans un deuxième temps, le modèle est utilisé en tridimensionnel avec les premiers résultats dans le cas de la sollicitation de traction et de compression.

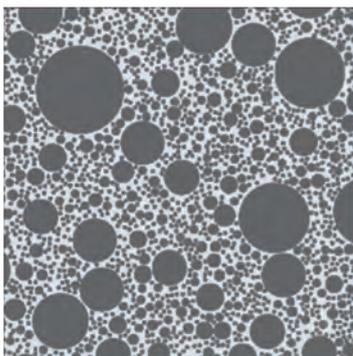


Figure 1 : Maillage du béton à l'échelle mésoscopique



Figure 2 : Ouverture de fissures du béton en traction

Sujet de la thèse :

Etude probabiliste des propriétés du béton. Applications aux enceintes de confinement et au stockage de déchets radioactifs.

**Thomas DE LARRARD**

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DSU/SSIAD/BERIS

Tuteur :

Frédéric DELERUYELLE

Ecole doctorale :

Cachan - Sciences Pratiques (ED285)

Directeur de thèse :

Jean-Michel TORRENTI

Financement :

Cofinancement ENS Cachan

---

L'évaluation de la durabilité des structures nécessite de prendre en compte la variabilité des propriétés du matériau notamment. La thèse présente deux aspects principaux : d'une part une campagne expérimentale visant à quantifier la variabilité d'un certain nombre d'indicateurs du comportement du béton (résistance mécanique, propriétés de transport) dans un ouvrage ; d'autre part le développement d'une modélisation simple de la lixiviation des bétons afin de mettre en œuvre des méthodes probabilistes pour estimer la durée de vie de structures liées notamment au stockage des déchets radioactifs. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact sur la durée de vie d'un ouvrage de la variabilité observée des caractéristiques du matériau les plus influentes par rapport à la cinétique de dégradation en lixiviation d'un ouvrage (porosité, tortuosité).

La campagne expérimentale a consisté à suivre deux chantiers réels, correspondant à deux formulations différentes de béton, et à proposer une caractérisation expérimentale (résistances en compression et en traction, modules de Young statique et dynamique, porosité, lixiviation accélérée, résistivité électrique) de 40 gâchées sur chacun des chantiers. Il est ainsi possible de quantifier la variabilité au sein de la structure de ces indicateurs pour chacune des formulations étudiées.

Afin de dépouiller les essais de lixiviation accélérée au nitrate d'ammonium en s'affranchissant des effets de la température, un outil d'analyse inverse basé sur la théorie des réseaux de neurones a été élaboré. La variabilité observée dans cet essai est reportée sur un coefficient de tortuosité (paramètre de modélisation macroscopique tenant compte de l'influence des granulats sur la cinétique des problèmes de diffusion dans le milieu poreux).

La mise en œuvre de la méthode de Monte-Carlo a permis de montrer l'influence significative de la variabilité du matériau sur la durée de vie d'une structure, en l'occurrence un tunnel de stockage de déchets radioactifs : plus de 5% des structures ont en réalité une durée de vie inférieure à 80% de l'estimation obtenue par une simulation déterministe en considérant des champs uniformes égaux à l'espérance des propriétés considérées.



## Session parallèle

Sûreté (incendie et aérosols)

Salle Marie Mauron

Judi 23 septembre : 8h10 - 10h30

Président de session

Jacques Vendel, Collège des experts

Direction d la sûreté des usines

**Housna KAMEL** (doctorante DPAM) Etude des mouvements de fumées d'incendie dans une configuration multi-enceinte ventilées mécaniquement : expérience à échelle réduite sur des scénarios impliquant plusieurs locaux connectés

**Ayoub NASR** (doctorant DPAM) Modélisation de l'évolution de la puissance d'un feu en régime de sous-ventilation dans un milieu confiné et mécaniquement ventilé

**Kodjo COUDORO** (doctorant DPAM) Etude expérimentale et modélisation de la propagation de flammes de prémélange dans un milieu confiné ou semi-confiné

**Nicolas LE ROUX** (doctorant DSU) Etude par similitude de l'influence du vent sur les transferts de masse et d'énergie dans les bâtiments complexes

**Clothilde BROCHOT** (doctorant DSU) Filtration des nanoparticules - application aux appareils de protection respiratoire

**Arnaud FOISSAC** (doctorant DSU) Modélisation des interactions entre gouttes en environnement hostile

**Mélany GOUELLO** (doctorante DPAM) Etude 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

Sujet de la thèse :

Etude des mouvements de fumées d incendie dans une configuration multi-enceinte ventilées mécaniquement.

Housna KAMEL

Date de début :

11-2008

Laboratoire :

DPAM/SERCI/LEF

Tuteur :

Hugues PRETREL

Ecole doctorale : Aix-Marseille II - Sciences pour l'ingénieur : Mécanique, Physique, Micro- et Nanoélectronique - ED 353

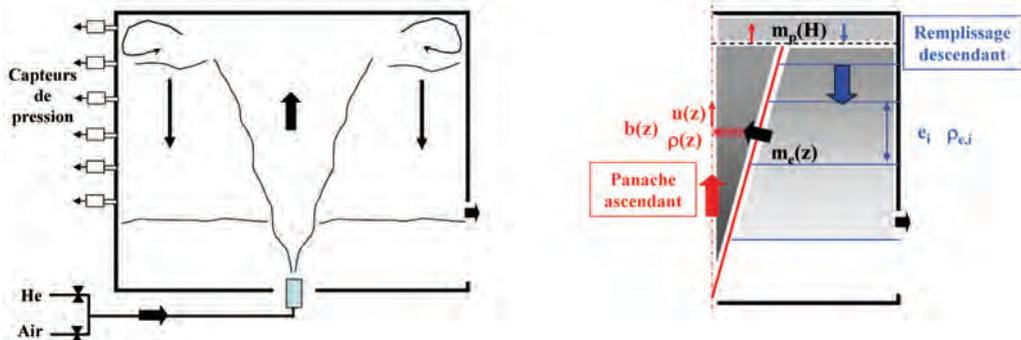
Directeur de thèse :

Olivier VAUQUELIN & Philippe BOURNOT

Financement :

Cofinancement Rég PACA

Dans le cadre des recherches sur la propagation des fumées d'incendies pour des scénarios typiques d'une installation nucléaire (bâtiment multi locaux ventilés mécaniquement, connectés entre eux par plusieurs types d'ouvertures), l'IRSN mène dans le cadre du laboratoire commun ETIC avec l'Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels (IUSTI) de Marseille, une étude sur la stratification des fumées d'incendie dans une enceinte confinée. L'objectif est de comprendre les mécanismes physiques d'écoulements des panaches thermiques dans un milieu présentant un profil vertical de masse volumique (milieu dit « stratifié »). Les résultats obtenus lors de cette seconde année concernent la mise en évidence expérimentale des différents processus de stratification et le développement d'une approche théorique simulant ce comportement. L'approche expérimentale est menée à échelle réduite en reproduisant le développement d'un panache incendie par un jet d'air-hélium dans une enceinte fermée et reliée vers l'extérieur par un passage de porte. La stratification est caractérisée par le profil vertical de masse volumique mesuré par des capteurs de pression statique. Les paramètres des essais sont le débit et la masse volumique initiale du jet. Les grandeurs recherchées sont les profils verticaux de masse volumique et les vitesses d'écoulements. Les résultats mettent en évidence la stratification des gaz par la présence d'un profil vertical de masse volumique marquée dans les premiers instants du remplissage puis s'affaiblissant au cours du temps. L'approche théorique est basée sur une description 1D monodirectionnel entre deux écoulements de sens opposé : le panache ascendant décrit par le modèle du panache idéal de Morton et le remplissage descendant considéré en strates homogènes et indépendantes en s'inspirant de l'approche globale de Baines & Turner. Le débit d'entraînement d'air sur la hauteur est la variable de couplage entre les deux écoulements. Les simulations sont en bon accord avec l'expérimentation. L'approche théorique montre que le gradient de masse volumique des gaz à l'extérieur du panache est lié à la variation de la masse volumique de l'air entraîné se mélangeant avec le panache. Ce travail basé sur une approche densimétrique démontre qu'une des causes de la stratification de la couche fumée est liée aux mécanismes aérauliques de remplissage.



Le dispositif expérimental et le principe de modélisation 1D

Sujet de la thèse :

Modélisation de l'évolution de la puissance d'un feu en régime de sous-ventilation dans un milieu confiné et mécaniquement ventilé

**Ayoub NASR**

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DPAM/SEMIC/LIMSI

Tuteur :

Laurent AUDOUIN

Ecole doctorale :

Poitiers - Sciences et ingénierie en matériaux, mécanique, énergétique et aéronautique SI-MMEA (ED522)

Directeur de thèse :

Jean-Pierre GARO

Financement :

Cofinancement EDF

---

Lors d'un feu dans des locaux confinés et mécaniquement ventilés, le niveau d'oxygène du local en feu décroît et se stabilise de telle manière que le débit massique du combustible s'adapte au niveau de ventilation du local. Cette situation peut conduire à la consommation de la totalité du combustible disponible initialement, mais à un débit massique très faible comparé à celui du même foyer en atmosphère libre. Il en résulte une durée de feu 2 à 3 fois supérieure à celle obtenue en milieu ouvert ce qui est susceptible de remettre en cause le dimensionnement d'éléments de sectorisation tels que des portes coupe-feu.

L'objectif du travail de thèse est de déterminer une modélisation de l'évolution de la puissance du foyer jusqu'à son extinction. Les effets de la viciation de l'air ambiant par les produits de la combustion sur le débit massique de combustible (MLR) sont les principaux processus pris en compte dans le modèle.

Une approche théorique, permettant de prédire le débit massique de combustible en atmosphère viciée, a été proposée et validée avec le code CFD « ISIS », développé par l'IRSN sur des résultats obtenus lors du programme expérimental PRISME-Source, réalisé à l'IRSN. La comparaison des résultats révèle que cette approche est en bon accord avec les données expérimentales.

En parallèle à ce travail, des essais expérimentaux à échelle réduite ont été réalisés sur des feux d'heptane, de diamètre 23 cm, au laboratoire LCD (CNRS - Institut Pprime), le principal but étant d'étudier les phénomènes prépondérants liés au confinement du local et au régime de la sous-ventilation. Ces données expérimentales servent actuellement à valider le logiciel ISIS ainsi que les approches théoriques développées pour prédire le MLR en milieu confiné. Une méthode expérimentale originale a été mise en œuvre pour découpler les mesures des flux thermiques reçus à la surface du bac d'heptane sous l'effet d'un rayonnement externe. Ces essais ont également permis d'étudier la stratification thermique dans le local.

La prochaine étape portera sur le développement d'un modèle global, basé sur le bilan énergétique à la surface du combustible, permettant de prédire le MLR ainsi que de reformuler la corrélation de Peatross et Beyler. Le modèle proposé sera validé avec le code ISIS. Des feux d'heptane seront étudiés en utilisant un foyer de diamètre 30 cm ce qui permettra de diminuer la concentration en oxygène au voisinage du foyer. D'autre part, des essais avec le dodécane seront également réalisés afin d'obtenir un palier du débit massique du combustible comparable à celui observé durant les essais PRISME-Source.

Sujet de la thèse :

Etude expérimentale et modélisation de la propagation de flammes de prémélange dans un milieu confiné ou semi-confiné

**Kodjo COUDORO**

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DSR/SAGR/BPhAG

Tuteur :

Ahmed BENTAIB

Ecole doctorale :

Orléans - Sciences et technologies (EDST)

Directeur de thèse :

Nabiha CHAUMEIX

Financement :

Cofinancement INERIS

L'explosion de gaz constitue une source d'accidents majeurs aussi bien dans les installations industrielles classiques que nucléaires. Dans les installations nucléaires, l'explosion de l'hydrogène peut entraîner la perte de confinement des matières radioactives et leur rejet dans l'environnement.

Pour évaluer le risque d'explosion de l'hydrogène, l'IRSN utilise une méthode qui est le fruit de travaux de recherche et de développement menés en collaboration avec le CNRS-ICARE depuis une dizaine d'années. Cette méthodologie repose notamment sur l'utilisation de critères a priori permettant de mettre en exergue les situations dangereuses susceptibles de mener à des charges en pression et en température dommageables pour l'intégrité de l'enceinte de confinement.

Dans le cadre de la thèse, on se propose d'étendre ces critères a priori à l'ensemble des gaz explosibles susceptibles d'être utilisés dans les industries classiques et nucléaires. La démarche adoptée consiste à choisir trois gaz explosibles représentants de trois familles de gaz dont la caractéristique commune est leur réactivité sur la base des résultats bibliographique obtenus au cours de la première année. Les gaz retenus sont le G27, le G222 et Syngas (50%H<sub>2</sub>-50%CO)

Pour cela, les mesures de vitesses de flammes ont été réalisées sur le G27 et le G222 dans une bombe sphérique. L'inflammation se fait au moyen de deux électrodes et l'évolution de la flamme est observée à l'aide d'un montage Schlieren couplé à une camera rapide. De l'évolution du rayon de la flamme en fonction du temps on déduit la vitesse de flamme et la longueur de Markstein. Les expériences ont été réalisées, à 1 et 2 Bars pour des températures allant de 30 à 120°C et des richesses couvrant l'ensemble du domaine d'inflammabilité. Par la suite différents modèles cinétiques présents dans la littérature ont été testés, dans le cas du G27, (GRI3.0, USC Mech2 et Galway Mech) en comparant les vitesses de flammes modélisés à l'expérience. Le mécanisme cinétique retenu est le GRI qui a permis l'évaluation de l'énergie d'activation des mélanges G27 Air. Cette méthodologie sera appliquée aux résultats obtenus sur le G222 afin d'en déduire les énergies d'activation des mélanges G222/ Air, puis au Syngas.



Figure 1: Photo de la bombe sphérique

## Sujet de la thèse :

Etude par similitude de l'influence du vent sur les transferts de masse et d'énergie dans les bâtiments complexes

Nicolas LE ROUX

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DSU/SERAC/LEMAC

Tuteur :

Sandrine SOARES

Ecole doctorale : la Rochelle - Sciences pour l'environnement et le développement durable

Directeur de thèse :

Christian INARD

Financement :

Cofinancement CSTB

### Contexte et objectifs de la thèse

Les installations industrielles de type nucléaire, possèdent une ventilation propre et sont de géométrie et de fonctionnement extrêmement variés, pouvant être le siège de scénarios incidentels ou accidentels très diversifiés. Dans le cadre des évaluations de sûreté, les différents types de scénarios pris en compte intègrent comme principal moteur d'écoulement la ventilation forcée, les locaux étant en dépression par rapport à la pression atmosphérique et en dépression les uns par rapport aux autres selon une hiérarchisation précise. Les codes de calcul adaptés à la modélisation des réseaux complexes de ventilation (comme l'outil SYLVIA) permettent d'estimer les pressions dans les locaux, les débits d'air circulant entre locaux, ainsi que ceux rejetés par la cheminée de rejet ou d'autres voies de rejet. Or, les transferts de contamination à l'intérieur de l'installation ainsi que les rejets de contamination dans l'environnement peuvent être modifiés par d'autres moteurs d'écoulement (vent, onde de pression interne, dégagement de chaleur), tout particulièrement lors de situations accidentelles entraînant une modification du régime de ventilation. Cependant, ces moteurs d'écoulements ne sont pris en compte que de manière sommaire, en raison du manque de description de ces effets dans les modèles aérauliques.

L'objectif de la thèse est donc de développer une méthodologie permettant d'étudier à échelle réduite les écoulements thermiques et aérauliques, en particulier leur aspect transitoire, dans les bâtiments complexes selon différents scénarios intégrant les effets du vent. La finalité des expérimentations réalisées en soufflerie est de permettre la qualification du code SYLVIA, ainsi que d'apporter des recommandations pour d'éventuelles modifications futures.

### Principaux résultats

Une méthodologie de dimensionnement des réseaux de ventilation à échelle réduite a été développée à partir de l'adimensionnement des équations du code SYLVIA. Cette méthodologie a ensuite été validée numériquement et expérimentalement pour l'étude des écoulements isothermes en régimes permanent et transitoire.

A partir de cette méthodologie, deux configurations types de locaux ventilés ont été dimensionnées à échelle réduite. Le dimensionnement de la maquette n°1 est illustré sur la figure ci-après. La calibration de ces maquettes est actuellement en cours de réalisation avant la réalisation des essais en soufflerie prévue fin 2010.

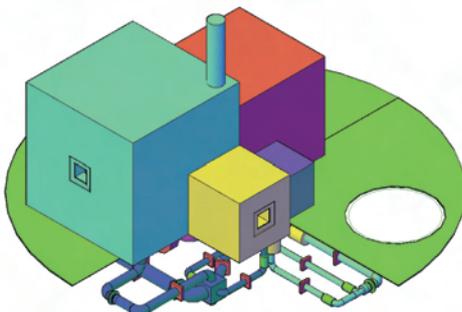


Figure 1 : Plan de la maquette - Configuration n°1.

Sujet de la thèse :

Filtration des nanoparticules - application aux appareils de protection respiratoire

**Clothilde BROCHOT**

Date de début :

11-2008

Laboratoire :

DSU/SERAC/LPMA

Tuteur :

Nathalie MICHIELSEN

Ecole doctorale : Nancy I - Ressources, Procédés, Produits et Environnement RP2E - ED 410

Directeur de thèse :

Dominique THOMAS

Financement :

Cofinancement INRS

---

Dans le monde industriel, les particules ayant au moins une dimension inférieure à 100 nm sont exploitées pour leurs propriétés particulières, et peuvent être à l'origine de nouvelles situations d'exposition professionnelle. La communauté scientifique s'interroge donc sur l'impact éventuel de ces nanoparticules sur la santé des travailleurs exposés. Du fait de leur taille, celles-ci ont la particularité de se déposer dans l'ensemble des voies respiratoires et pourraient même atteindre le système nerveux via les voies nasales. L'efficacité des Appareils de Protection Respiratoire (APR) dans leur ensemble pour des nanoparticules est donc à étudier. En effet, lorsque l'utilisation d'une filtration collective n'est pas envisageable, le port d'un APR est le dernier rempart préconisé pour les travailleurs afin de limiter leur exposition.

Le travail de thèse a pour objectif de déterminer les performances de filtration des APR face à des nanoparticules, en simulant au mieux la respiration humaine. Les recherches menées permettront aussi de mesurer l'effet d'une fuite sur l'efficacité des APR.

La recherche bibliographique, initiée en première année de thèse, a permis la création d'un cahier des charges pour la réalisation du banc dédié à la mesure de l'efficacité de filtration de demi-masques pour des particules nanométriques. Cette recherche a aussi contribué au choix de deux demi-masques pour effectuer les mesures d'efficacités, l'un est utilisé lors d'intervention et le second en cas d'évacuation.

La deuxième année de thèse a été consacrée au suivi de la réalisation et à la réception des différentes composantes du banc de test, ainsi qu'à la réalisation d'expériences de qualification préliminaires ou connexes. En effet, en plus du banc de mesure, le matériel spécifique à la génération des particules de taille nanométrique, le simulateur respiratoire (acheté et prêté par l'INRS), les APR ainsi que le medium plan constituant les masques ont été réceptionnés. La qualification des différentes parties du banc et du matériel réceptionné est en cours. En parallèle, un article sur la comparaison des efficacités de media plans est en préparation.

Sujet de la thèse :

Modélisation des interactions entre gouttes en environnement hostile

**Arnaud FOISSAC**

Date de début :

11-2008

Laboratoire :

DSU/SERAC/LEMAC

Tuteur :

Jeanne MALET

Ecole doctorale :

Paris VI - Sciecnes mécaniques, acoustique et électronique

Directeur de thèse :

Olivier SIMONIN &amp; François FEUILLEBOIS

Financement :

Cofinancement EDF

Cette thèse, cofinancée avec EDF, porte sur la modélisation de la polydispersion en taille et en vitesse des gouttes d'eau présentes dans un bâtiment réacteur, suite à l'activation du système d'aspersion après un hypothétique accident grave. Alors que la plupart des codes multidimensionnels de simulation d'accidents graves ne considèrent qu'un seul diamètre et qu'une seule vitesse pour toute la population de gouttes simulée, l'objectif est de prendre en compte la polydispersion, et notamment son évolution due à la collision entre gouttes.

Une première partie de la thèse s'est intéressée aux modèles de collision développés pendant la thèse de C. Rabe et, plus particulièrement, à leur validité en présence d'impuretés potentiellement libérées dans l'enceinte en situation accidentelle. Des expériences de collision binaire de gouttes d'eau en présence de particules, solubles ou insolubles, n'ont pas révélé de différences notables par rapport au cas en eau pure, permettant ainsi d'utiliser les modèles de C. Rabe en environnement avec impuretés. La deuxième partie concerne la modélisation de la polydispersion des gouttes d'eau au sein du code multiphasique NEPTUNE\_CFD, par la méthode sectionnelle, retenue après une étude bibliographique. Malgré des temps de calcul élevés, cette approche peut supporter de fortes variations de forme de distributions granulométriques. La collision a été intégrée en explicitant les termes de transferts de masse et de quantité de mouvement entre les différentes sections, en utilisant les modèles de collision binaire de C. Rabe. Des considérations statistiques ont permis de calculer les fréquences de collision pour étendre le modèle à toute la population de gouttes. L'interaction entre sprays issus de deux buses d'aspersion a été simulée avec 9 classes de gouttes, démontrant une forte fragmentation au niveau de la zone de croisement. Ces premiers calculs ont été réalisés en utilisant, comme données d'entrée, les caractéristiques du spray issu d'une buse d'aspersion des REP, obtenues expérimentalement lors d'une collaboration avec l'Institut von Karman.

La troisième partie consiste à valider le modèle implémenté dans NEPTUNE\_CFD sur un banc expérimental qui permettra la mesure des distributions en taille et en vitesse de gouttes issues de deux buses d'aspersion à échelle réelle.



*Buse d'aspersion de Réacteur à Eau Pressurisée et visualisation à l'aide d'une caméra rapide du spray en sortie de celle-ci.*

Sujet de la thèse :

Etude 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

Mélany GOUELLO

Date de début :

11-2008

Laboratoire :

DPAM/SERCI/L2EC

Tuteur :

Fabienne BOT

Ecole doctorale : Grenoble - Ingénierie - Matériaux, Mécanique, Environnement, Energétique, Procédés, Production IMMEEP - ED510

Directeur de thèse :

Elisabeth BLANQUET

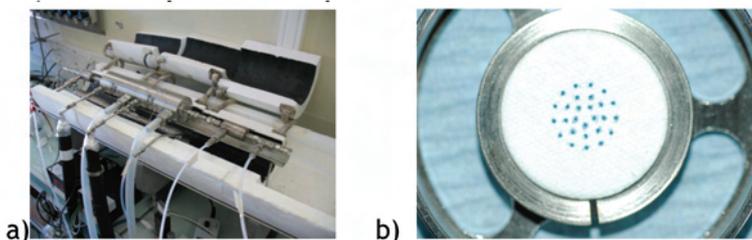
Financement :

IRSN

L'évaluation de la quantité totale d'iode susceptible d'être rejetée dans l'environnement en cas d'un hypothétique accident grave sur un réacteur nucléaire revêt une grande importance du fait de sa radiotoxicité et de son caractère volatil. A ce jour, les connaissances acquises et les modèles utilisés ne permettent pas de rendre compte complètement du comportement de l'iode observé lors d'essais à grande échelle (programme PHEBUS). La détermination de la composition moléculaire des aérosols se formant dans le circuit primaire est l'une des voies d'amélioration des modèles développés pour prédire les fractions d'iode gazeux susceptibles d'être rejetées dans l'environnement. Un travail de recherche expérimental sur cette thématique vient de débiter à la Direction de la Prévention des Accidents Majeurs (IRSN/DPAM) en collaboration avec le Laboratoire de Spectrochimie Infrarouge et Raman (LASIR) et le Laboratoire des Sciences et Ingénierie des Matériaux et Procédés (SIMaP). Le LASIR possède une expérience reconnue dans le domaine de la microspectrométrie Raman qui constitue l'une des techniques retenues dans le cadre de cette étude pour la caractérisation des aérosols.

Les résultats des travaux antérieurs (confère thèse de Marion Lacoue-Nègre), obtenus dans le cadre de l'étude du système {Cs-I-Mo-O-H}, montrent l'existence d'une forte proportion d'iode gazeux lorsque le rapport Mo/Cs > 1 (avec Cs/I=1). Dans les mêmes conditions, les analyses révèlent également que les particules sont composées, en partie, de molybdates de césium tel que Cs<sub>2</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>22</sub>. L'objectif de cette thèse est, d'une part, de compléter les recherches menées jusqu'ici sur le système {Cs-I-Mo-O-H} et d'autre part, d'étudier l'influence du bore sur la chimie de l'iode dans le circuit primaire.

S'agissant du premier volet, nous présentons ici les résultats obtenus avec un système de dilution / impaction qui vise à caractériser de manière plus fine la composition chimique des particules en fonction de leur granulométrie. Dans une deuxième partie, nous nous intéressons aux données disponibles dans la littérature sur les interactions entre le bore, césium et iode et nous présentons les premiers éléments de réflexion sur le système d'injection du bore dans le banc GAEC, dispositif expérimental développé et utilisé pour l'étude du système précédent {Cs-I-Mo-O-H}.



Figures :

- a) photo du système de dilution composé de deux parois poreuses et de deux diluteurs injecteurs
- b) photo d'un filtre issu du 5ème étage d'impaction lors de l'étude de la vaporisation du mélange de CsI et MoO<sub>3</sub> sous vapeur d'eau

## Session parallèle

Sciences de la santé (dosimétrie et radiobiologie)

Salle Manadiers

Jeudi 23 septembre : 8h10 - 10h30

Président

François Paquet, Collège des experts  
Direction scientifique

**Lama HADID** (doctorante DRPH) Optimisation d'un outil dosimétrique personnalisé : application à la dosimétrie des patients de médecine nucléaire.

**Jad FARAH** (doctorant DRPH) Amélioration des mesures anthroporadiométriques personnalisées assistées par calcul Monte Carlo : optimisation des temps de calculs et méthodologie de mesure pour l'établissement de la répartition d'activité.

**Mouhamad ELBAST** (post-doctorant DRPH) Problématique de l'irradiation alpha suite à une contamination interne : calculs de dose à l'échelle cellulaire et corrélation aux observables biologiques

**Vincent LAMIRAND** (doctorant DRPH) Détermination de sections efficaces pour la production de champs neutroniques monoénergétiques de basses énergies

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

**Nicholas SYNHA EVE** (doctorant DRPH) Influence d'une contamination chronique par ingestion de strontium 90 sur les systèmes hématopoïétique et immunitaire.

**Rodrigue ALLODJI** (doctorant DRPH) Prise en compte des erreurs de mesure dans l'analyse du risque associé à l'exposition aux rayonnements ionisants dans une cohorte professionnelle : application à la cohorte française des mineurs d'uranium.

## Sujet de la thèse :

Optimisation d'un outil dosimétrique personnalisé : application à la dosimétrie des patients de médecine nucléaire.

Lama HADID

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DRPH/SDI/LEDI

Tuteur :

Aurélien DESBREE

Ecole doctorale :

Paris VII - Constituants élémentaires- systèmes complexes ED381

Directeur de thèse :

Libor MAKOVICKA

Financement :

IRSN

En médecine nucléaire, les radiopharmaceutiques injectés se distribuent dans l'organisme et déposent une fraction de l'énergie émise dans divers tissus. Une évaluation dosimétrique précise est donc indispensable afin d'assurer la radioprotection des patients.

Les calculs de dose sont basés sur des modèles (fantômes) anatomiques de référence. Récemment, la commission internationale de protection radiologique a décidé d'adopter de nouveaux fantômes voxélisés de référence remplaçant les modèles mathématiques peu réalistes. Dans ce cadre, j'ai dans un premier temps réalisé une évaluation des fractions spécifiques d'énergie absorbée (SAFs) pour les photons et électrons à l'aide du logiciel OEDIPE associé au code de calcul Monte-Carlo MCNPX. Les doses absorbées ont été ensuite calculées pour les fantômes voxélisés pour 13 radiopharmaceutiques en utilisant les données biocinétiques standards puis comparées avec les valeurs des fantômes mathématiques. Ce travail a mis en évidence l'intérêt du calcul des SAFs surtout pour les électrons de hautes énergies. De plus, des différences ont été constatées au niveau des doses absorbées, en particulier pour les organes avec parois en raison des différentes topologies et des approximations utilisées antérieurement pour les électrons.

L'anatomie des individus pouvant s'éloigner de celle des fantômes standards, le deuxième objectif de ma thèse a donc été d'étudier l'effet de la morphologie des patients sur les doses absorbées pour 8 radiopharmaceutiques. Dans ce but, douze fantômes spécifiques ont été créés à partir de la segmentation d'images tomodensitométriques corps entier. Les doses absorbées ont été calculées et comparées aux valeurs de référence. Une application de corrections suivant la masse des organes des patients a ensuite été appliquée pour les fantômes standards et la variation de ces corrections avec le pourcentage d'autoabsorption pour différents organes a été étudiée. Ce travail a montré que les doses absorbées varient de l'ordre d'un facteur de 3 entre les patients. De plus, les modèles voxélisés donnent de meilleures estimations de la dose absorbée par rapport aux fantômes mathématiques en particulier pour les organes avec un faible taux d'autoabsorption.

La prochaine étape consistera à réaliser la dosimétrie des particules alpha au niveau de l'os en collaboration avec W. Bolch de l'université de Floride.

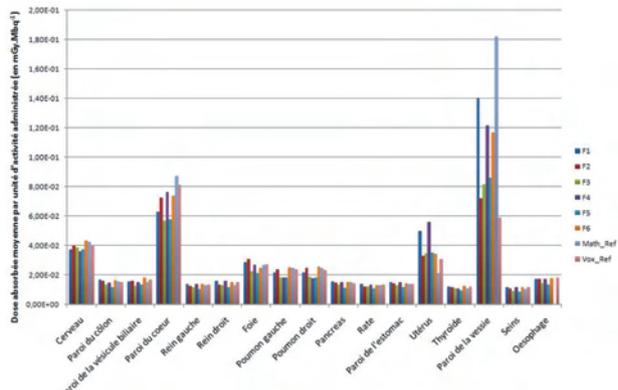


Figure 1. Comparaison des doses absorbées moyennes par unité d'activité administrée (en mGy.MBq<sup>-1</sup>) en fonction des organes cibles des fantômes féminins pour le <sup>18</sup>F-FDG

## Sujet de la thèse :

Amélioration des mesures anthroporadiométriques personnalisées assistées par calcul Monte Carlo : optimisation des temps de calculs et méthodologie de mesure pour l'établissement de la répartition d'activité.

**Jad FARAH**

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DRPH/SDI/LEDI

Tuteur :

David BROGGIO

Ecole doctorale :

Paris XI - Rayonnement et Environnement - ED421

Directeur de thèse :

Didier FRANCK

Financement :

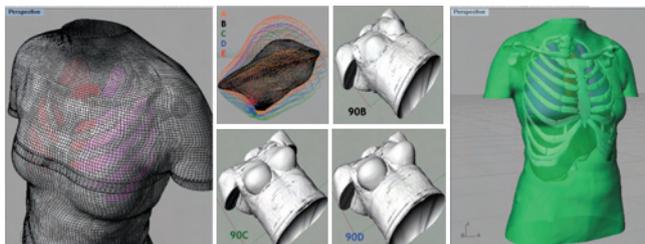
Cofinancement AREVA NC

Pour améliorer les mesures anthroporadiométriques, des étalonnages numériques associant fantômes voxelisés et calculs Monte Carlo (MC) sont réalisés. Afin d'optimiser la surveillance des travailleuses du nucléaire, des modèles 3D féminins ont été développés et les simulations MC réalisées pour calculer des coefficients d'étalonnage réalistes et personnalisés.

A partir du nouveau modèle féminin de référence de la CIPR, une librairie de 24 thorax féminins a été créée, aux formats 3D graphiques Mesh et NURBS, de différents bonnets (A-F), tours de thorax (85-120) et volume des organes internes. Les simulations MC ont permis de corriger les coefficients d'étalonnage pour passer d'une mesure Livermore à un sujet féminin. Par la suite, la variation de l'efficacité de comptage en fonction de la morphologie féminine a été mise en équation. Celle-ci permet de donner une estimation rapide et fiable de l'efficacité de comptage pour toute travailleuse surveillée en évitant les calculs MC coûteux en temps. L'équation développée introduit des paramètres physiques accessibles qui reproduisent l'effet sur l'efficacité de comptage du volume chargé et de l'épaisseur de tissu atténuant. L'équation a ainsi été validée pour reproduire, à partir des mesures Livermore, les efficacités simulées pour les 24 fantômes féminins créés.

Par la suite, le travail de thèse a porté sur l'accélération des calculs MC par le biais de méthodes de réduction de variance (RV). Celles-ci ont permis d'augmenter le nombre de coups dans les détecteurs en biaisant la nature et la direction d'émission, en favorisant les interactions des photons de haute énergie dans les détecteurs et, enfin, en augmentant le pouvoir de pénétration des photons de basse énergie. Un gain total de temps de calcul d'un facteur 20 a été obtenu, avec des valeurs d'efficacité de comptage en accord (écart relatif <5%) avec les situations de référence (sans RV) et ce, quelque soit l'énergie du radionucléide simulé (15 keV à 1,4 MeV).

En perspective, un logiciel basé sur le raisonnement à partir de cas et cette librairie de fantôme est en cours de développement pour aider, en cas d'urgence, dans le choix et l'adaptation du fantôme à toute victime, pour une dosimétrie personnalisée.



Sujet du post-doctorat :

Problématique de l'irradiation alpha suite à une contamination interne : calculs de dose à l'échelle cellulaire et corrélation aux observables biologiques

Mouhamad ELBAST

Date de début :

Laboratoire :

Tuteur :

01-2010

DRPH/SDI/LEDI

Aurélie DESBREE

---

L'objectif est de mettre en place des méthodologies permettant de réaliser des calculs microdosimétriques suite à une contamination par des particules alpha avec des géométries et une répartition d'activité réalistes. Le cadre de cette étude correspond au PIC DOSINTER sur la prise en charge des plaies contaminées par l'uranium. Actuellement, les calculs de dose pour l'uranium fournis par la CIPR ne prennent pas en compte ce type de contamination et une distribution homogène de l'activité est considérée. Cependant, pour le rein, de récentes études ont montré une répartition hétérogène de l'uranium au niveau cellulaire. Ainsi, trois laboratoires de l'IRSN (LRTOX, LRC, LEDI) se sont associés pour déterminer la dose au niveau des cellules rénales de rat à partir d'images optiques et SIMS.

Dans un premier temps, des méthodes de calculs microdosimétriques pour des particules alpha ont été développées sous les codes Monte-Carlo MCNPX et GEANT4 puis validées par comparaison avec les données de la littérature. L'effet de la localisation de l'uranium sur l'énergie spécifique déposée dans le noyau a ainsi été évalué. Trois distributions d'uranium ont été simulées : une accumulation extracellulaire, cytoplasmique et nucléaire. Les résultats ont montré qu'une particule alpha qui touche le noyau en partant de l'extérieur de la cellule, dépose une énergie spécifique moyenne supérieure aux autres configurations (facteur 2,3). En revanche, la probabilité pour que ce même alpha touche le noyau n'est que de 0,3%.

Dans un second temps, les simulations basées sur des géométries voxelisées 3D ont été étudiées et ont notamment montré la possibilité d'utiliser ce type de modèles avec une limite de taille de voxels de 1  $\mu\text{m}$  pour MCNPX.

Enfin, un modèle 3D a été réalisé à partir d'une série de coupes sériées d'un rein de rat (figure 1). La même région d'intérêt a été sélectionnée sur les 10 coupes. Puis, un seuillage a été appliqué à l'aide du logiciel ImageJ pour extraire les différentes structures du tissu (noyaux cellulaires, cytoplasme). Les coordonnées de chaque noyau ont été relevées et le modèle 3D de la zone sélectionnée a été généré sous un format lisible sous GEANT4. L'analyse dosimétrique est en cours.

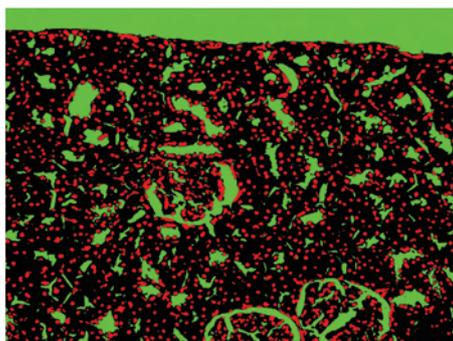


Figure 1 : Image représentant une coupe histologique d'un rein de rat obtenu à partir du logiciel ImageJ. La structure noire représente le cytoplasme, la rouge les noyaux et la verte le reste.

Sujet de la thèse :

Détermination de sections efficaces pour la production de champs neutroniques monoénergétiques de basses énergies

**Vincent LAMIRAND**

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DRPH/SDE/LMDN

Tuteur :

Vincent GRESSIER

Ecole doctorale :

Grenoble - Physique

Directeur de thèse :

Eric LIATARD

Financement :

IRSN

Les équivalents de dose neutroniques sont très dépendants de l'énergie des neutrons. Les champs neutroniques rencontrés aux postes de travail ayant des distributions en énergie très étendues et différentes d'un point à l'autre, la connaissance de la variation de la réponse d'un détecteur de neutrons avec l'énergie des neutrons est essentielle pour juger de son adéquation. La détermination expérimentale de cette variation se réalise au moyen de champs neutroniques monoénergétiques.

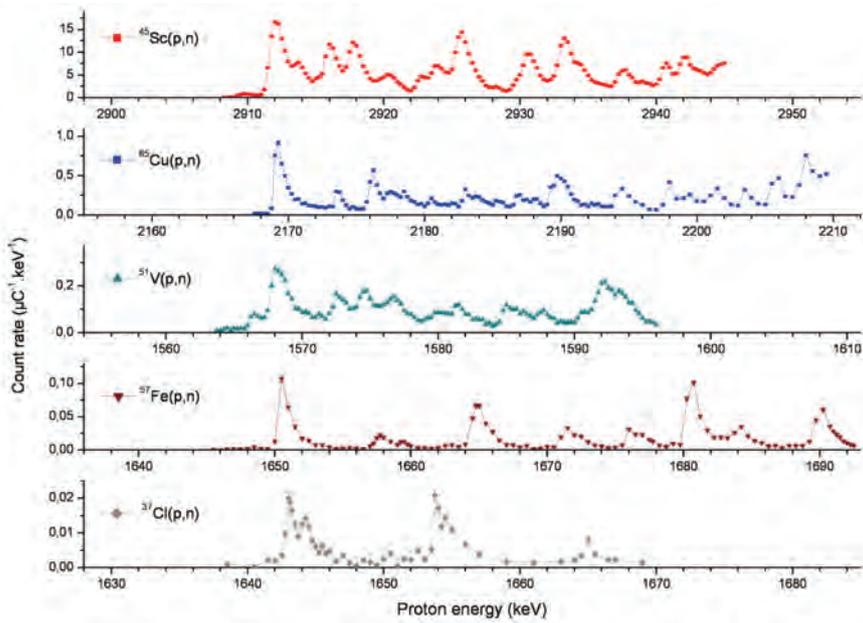
Ceux-ci sont produits par l'interaction entre un faisceau d'ions accélérés et une cible fine constituée d'un dépôt sur un support métallique. En utilisant différentes réactions telles que  ${}^7\text{Li}(p,n)$ ,  ${}^3\text{H}(p,n)$ ,  ${}^2\text{H}(d,n)$  et  ${}^3\text{H}(d,n)$ , il est possible de produire des neutrons entre 120 keV et 20 MeV dans la direction du faisceau incident ( $0^\circ$ ).

Pour atteindre des énergies inférieures, il est possible d'augmenter l'angle du point de mesure par rapport à la direction du faisceau d'ions. Cependant, cette méthode présente des problèmes d'homogénéité en énergie des neutrons à la surface du détecteur, ainsi qu'une augmentation de la contribution relative de neutrons diffusés. Une alternative est l'utilisation d'autres réactions nucléaires, notamment la réaction  ${}^{45}\text{Sc}(p,n)$  qui permet de descendre jusqu'à une énergie exploitable de 8 keV à  $0^\circ$ .

Une étude complète de cette réaction est menée au sein d'une coopération scientifique entre le laboratoire de métrologie et de dosimétrie des neutrons (LMDN) de l'IRSN et trois instituts de métrologie européens, le NPL (RU), le PTB (All) et l'IRMM (CEE). La première étape de cette étude a consisté à sélectionner le support de la cible de scandium. En effet, la section efficace de la réaction étant faible ( $< 2$  mb), la cible doit pouvoir supporter des courants élevés (jusqu'à 50  $\mu\text{A}$ ). Des mesures ont été effectuées sur l'accélérateur Van de Graaf du NPL afin de comparer la tenue de cibles sur des supports en Ta, W, Mo, Ag, Al et Pt. Ces mesures ont abouti à une sélection du tantale et la démonstration de l'excellente tenue aux forts courants. Les cibles ainsi définies ont été employées pour mesurer la variation relative de la fluence de la réaction  ${}^{45}\text{Sc}(p,n)$  avec l'angle d'émission, première étape de la détermination des sections efficaces différentielles.

Parallèlement, de nouvelles réactions sont étudiées :  ${}^{37}\text{Cl}(p,n)$ ,  ${}^{51}\text{V}(p,n)$ ,  ${}^{57}\text{Fe}(p,n)$ ,  ${}^{65}\text{Cu}(p,n)$  à ce jour. Sélectionnées théoriquement (énergie minimale des neutrons produits à  $0^\circ$ ), elles ont été comparées expérimentalement en termes de débit d'émission neutronique et de variations de leur sections-efficaces sur l'installation AMANDE de l'IRSN (cf figure).

A terme, les sections efficaces différentielles mesurées seront intégrées dans les codes de calcul afin de simuler avec précision la distribution en énergie de la fluence neutronique produite par ces réactions.



Fonctions d'excitations des réactions  $^{45}\text{Sc}(p,n)$ ,  $^{65}\text{Cu}(p,n)$ ,  $^{51}\text{V}(p,n)$ ,  $^{57}\text{Fe}(p,n)$  et  $^{37}\text{Cl}(p,n)$ , déterminées sur l'installation AMANDE pour leur comparaison.

## Sujet de la thèse :

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

**Raphaëlle BESSOUT**

Date de début :

11-2008

Laboratoire :

DRPH/SRBE/LRTE

Tuteur :

Noëlle MATHIEU

Ecole doctorale :

Versailles St Quentin - des génomes aux organismes

Directeur de thèse :

Marc BENDERITTER

Financement :

Cofinancement Région IdF

Radiation exposure during radiotherapy is a mainstay of treatment of abdominopelvic malignancies. Radiotherapy is associated with a high incidence of undesirable acute and/or chronic gastrointestinal complications that can be life threatening. So far, the lack of curative treatment and the potential severity of illness highlight the importance of novel and effective therapeutic strategies for gastrointestinal complications after radiation exposure.

Stem cell-based approaches using MSC are promising therapies. MSC treatment has been already used in clinical protocols, and studies have reported abilities of MSC regarding gastrointestinal healing.

In our laboratory, we use SD rats lo

cally irradiated through a colorectal region 27Gy to induce lesions closely related to those observed in humans. Preliminary data show benefit of autologous bone marrow MSC injection on radio-induced ulcers. However, the mechanisms implicated are not well established.

Numerous in vitro experiments demonstrated the ability of MSC to inhibit inflammation. Consequently, we hypothesized that the mechanisms underlying the benefit of MSC injection could be a modulation of the inflammatory process.

Our first aim was to characterize the local inflammatory process caused by colorectal radiation and its potential modulation by MSC. This work permitted us to determine two phases in the process:

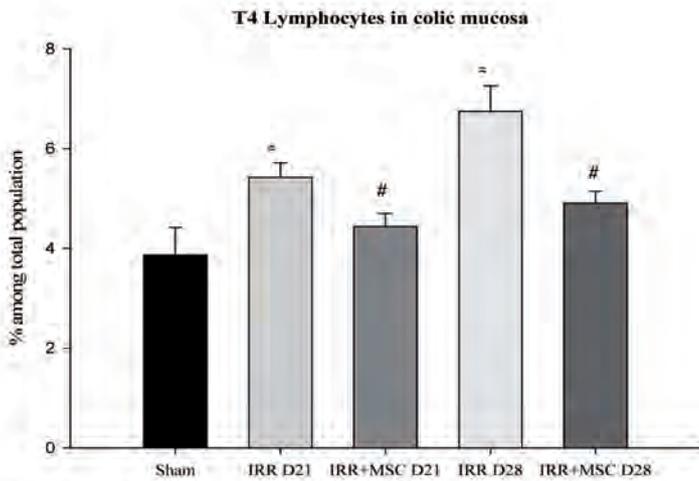
- An acute phase, which takes place immediately after radiation and lasts until day 14;
- A chronic phase, starting at day 21.

We then tried to determine if the MSC treatment had an effect on those two inflammatory phases. For now, even if the anti-inflammatory effect of the MSC is not clear during the acute inflammation, we demonstrated that it is very important during the chronic phase.

We then looked forward to determine which inflammatory cells are implicated in this regulation. We are now able to say that the MSC effect pass through a significant diminution of Lymphocytes t4, Lymphocytes t8 and activated t Lymphocytes in irradiated colic mucosa, mesenteric lymph nodes and in blood of MSC treated rats.

We still have to understand how MSCs regulate the inflammation. This is leading by q-PCR analysis of the cytokines produced by colic leucocytes after radiation and after MSC treatment.

The end of the thesis will be devoted to study the effects of the inflammatory process on tissue repair. Thus, we will particularly focus on the regulation of proliferation pathways by the cytokines, using in vivo and in vitro models.



**Proportion of T4 Lymphocytes in colonic mucosa during the chronic phase of radiation-induced inflammation**

= :  $p \leq 0.05$  vs sham # :  $p \leq 0.05$  vs IRR

## Sujet de la thèse :

Influence d'une contamination chronique par ingestion de strontium 90 sur les systèmes hématopoïétique et immunitaire.

**Nicholas SYNHAEVE**

Date de début :

12-2008

Laboratoire :

DRPH/SRBE/LRTOX

Tuteur :

Jean-Marc BERTHO

Ecole doctorale : Paris XI - Innovation thérapeutique : du fondamental à l'appliquée ED425

Directeur de thèse :

Jean-Marc BERTHO

Financement :

Cofinancement Région IdF

---

Vingt ans après l'accident de Tchernobyl, le Cs-137 et Sr-90 sont toujours présents dans l'environnement. Ces radionucléides ont progressivement intégré les chaînes alimentaires menant à l'homme et des populations importantes ingèrent quotidiennement de faibles quantités de ces éléments. Malgré des connaissances sur leur toxicité à forte dose, les effets non cancéreux d'une contamination chronique et à faible dose restent à explorer.

La thèse s'inscrit dans le cadre du programme ENVIRHOM et a comme objectif de déterminer les modifications fonctionnelles des systèmes hématopoïétique, immunitaire et osseux à la suite d'une contamination chronique et à faible dose de Sr-90. Cette étude est menée sur deux axes : in vivo pour mimer la situation des populations humaines et in vitro pour étudier les mécanismes d'action du Sr-90.

Pour le modèle in vitro, plusieurs techniques ont été mises au point afin d'étudier la différenciation et la minéralisation des pré-ostéoblastes et cellules souches mésenchymateuses in vitro. Des expériences sur les effets après une contamination chronique à faible concentration de Sr-90 sont actuellement en cours.

La biocinétique chez le modèle juvénile de souris Balb/c utilisé montre que le Sr-90 est accumulé essentiellement dans les os. L'évolution de la charge corporelle semble liée à l'accumulation durant la croissance osseuse. La réduction d'accumulation du Sr-90 dans les os chez un modèle adulte devrait permettre de confirmer cette hypothèse. Des quantités significatives de Sr-90 sont également retrouvées dans le tube digestif. Etant donné que ces quantités sont uniquement détectables dans l'intestin grêle et que l'excrétion se passe principalement par les fèces, la présence de Sr-90 semble être causée par rétention mécanique dans les villosités intestinales et non pas par une accumulation vraie dans les tissus. Des expériences complémentaires sont en cours pour clarifier ce point.

Les résultats suggèrent également que l'ingestion chronique de faibles concentrations de Sr-90 a une influence sur les systèmes hématopoïétique et osseux chez les animaux en croissance. Par exemple, différentes données suggèrent un retard de développement de la lignée érythrocytaire et une lymphocytose à la naissance. Ces résultats seront complétés par des études sur les cellules hématopoïétiques, ainsi qu'une étude histologique des tissus osseux et la densitométrie osseuse. Pour déterminer les effets sur le système immunitaire, un test de vaccination est en cours.

A terme, la réalisation de cette thèse devrait permettre de décrire de façon détaillée l'effet de l'ingestion chronique à faibles doses de Sr-90 sur les systèmes décrits ci-dessus et d'identifier des mécanismes permettant d'expliquer, au moins en partie, les modifications observées.

Sujet de la thèse :

Prise en compte des erreurs de mesure dans l'analyse du risque associé à l'exposition aux rayonnements ionisants dans une cohorte professionnelle : application à la cohorte française des mineurs d'uranium.

**Rodrigue ALLODJI**

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DRPH/SRBE/LEPID

Tuteur :

Dominique Laurier

Ecole doctorale :

Paris XI - Santé publique (ED 420)

Directeur de thèse :

Dominique LAURIER & Jacques BENICHO

Financement :

Cofinancement AREVA NC

---

L'estimation du risque radio-induit ne prend pas toujours en compte les erreurs de mesure (EM) associées à l'estimation de l'exposition. Il est cependant reconnu que négliger les EM conduit soit à une atténuation ou une inflation du risque. Ce problème est très peu documenté dans les études chez les mineurs d'uranium. Afin d'apporter des réponses à ce questionnement, le Laboratoire d'Epidémiologie de l'IRSN a lancé cette thèse, dont l'objectif général est d'étudier l'impact de la prise en compte des EM liées à l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants (radon et descendants à vie courte, poussières d'uranium et rayonnement gamma) dans l'estimation du risque de décès par cancer du poumon dans la cohorte française des mineurs d'uranium. Nos résultats révèlent que l'ampleur des EM était plus élevée au cours des périodes plus anciennes, surtout pour les expositions au radon et ses descendants à vie courte et aux poussières d'uranium. Dans l'optique d'étudier de manière approfondie l'impact des EM, nous avons mis en place une étude de simulation. Dans tous les cas, les EM conduisent à une atténuation de l'effet de l'exposition aux RDP. Cette atténuation est beaucoup plus élevée pour des EM de formes multiplicatives comparativement aux formes additives. De la même manière, le biais induit par des EM Berkson multiplicatives est beaucoup plus élevé (-44,59 %) par rapport à celui induit par des EM classiques multiplicatives (-13,87 %).

La finalité de nos travaux est d'affiner l'estimation des coefficients d'excès de risque de décès par cancer du poumon associé aux expositions professionnelles chez les mineurs d'uranium. De ce fait, nous travaillons donc maintenant sur les méthodes de correction de l'effet des EM.

## Session parallèle

Sûreté (chimie et modélisation)

Salle Manadiers

Jeudi 23 septembre : 16h40 - 18h20

Présidente de session

Sophie Sobanska, Laboratoire de spectrochimie infrarouge et raman  
Université des Sciences et Technologies de Lille

**Daoud BAALBAKI** (doctorant DPAM) Modélisation et simulation des effets de la turbulence sur le refroidissement des gainages gonflés d'un coeur de réacteur nucléaire à eau sous pression (REP) en situation d'accident de perte du réfrigérant primaire

**Walid KHERIJI** (doctorant DPAM) Méthodes de correction de pression pour le modèle de dérive

**Yathis DELICAT** (doctorant DPAM) Etude de la réactivité de produits de fission (I, Cd, Cs) transportés dans un mélange H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O en condition de combustion dans des flammes basse pression prémélangées.

**Shaoliang ZHANG** (doctorant DPAM) Etude cinétique de formation, d'agrégation et spéciation des oxydes d'iode (IO<sub>x</sub>) dans l'enceinte d'un réacteur nucléaire en situation d'accident grave

**Isabel IDARRAGA** (doctorant DPAM) Etude des mécanismes de dégradation sous air à haute température des gaines de combustible nucléaire en alliage de zirconium

Sujet de la thèse :

Modélisation et simulation des effets de la turbulence sur le refroidissement des gainages gonflés d'un coeur de réacteur nucléaire à eau sous pression (REP) en situation d'accident de perte du réfrigérant primaire

Daoud BAALBAKI

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DPAM/SEMCA/LEMAR

Tuteur :

Pierre RUYER

Ecole doctorale :

Perpignan - Energie et environnement

Directeur de thèse :

Françoise DAUMAS-BATAILLE

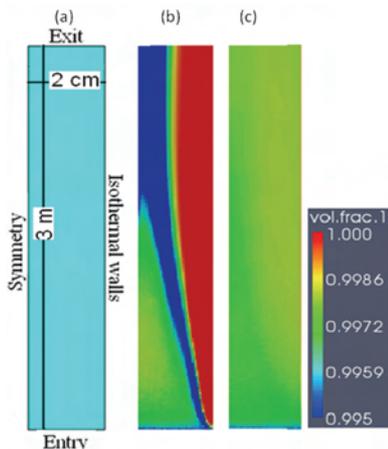
Financement :

Cofinancement EDF

Cette étude concerne la problématique du refroidissement des assemblages de combustible déformés lors de la phase de renouveau d'un Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP). Nous souhaitons étudier le refroidissement des gaines dans les zones où s'écoule de la vapeur chargée de gouttelettes. L'objectif de notre travail est d'améliorer la modélisation des écoulements à gouttes turbulentes qui est utilisée dans le code de calcul NEPTUNE\_CFD.

Tout d'abord, nous avons effectué une étape théorique dans laquelle on établit un système des équations diphasiques moyennées valables en tout point de l'écoulement et à tout instant. La formulation en grandeurs moyennes s'accompagne de l'apparition de termes inconnus restant à modéliser : termes liés à la turbulence et termes liés aux échanges à l'interface entre les phases. Nous avons étudié les modèles et les hypothèses utilisées pour fermer ces termes.

Des simulations ont ensuite été réalisées sur une géométrie simple représentant un tube long avec des parois adiabatiques. La dynamique de cet écoulement est contrôlée par quatre phénomènes : turbulence de la phase continue, turbulence de la phase dispersée, force de traînée et force de portance. La comparaison entre les modèles de la turbulence de la phase continue montre que le modèle  $k-\epsilon$  surestime la valeur de la viscosité turbulente alors que le modèle Rij- $\epsilon$  semble plus adapté et arrive à mieux appréhender la turbulence. La comparaison entre les deux modèles de turbulence de la phase dispersée, Tchen et Q2Q12, montre que Tchen présente des inconvénients par rapport (i) à la prise en compte des conditions d'entrée et (ii) à la dépendance de la turbulence de la phase dispersée par rapport à la turbulence de la phase continue. Par ailleurs, le modèle actuel de la force de portance utilisée dans le code NEPTUNE\_CFD (modèle d'Auton) n'est pas compatible avec le cas d'écoulement de vapeur avec gouttelettes. Un modèle plus compatible a été proposé. Enfin, les conditions d'entrée (agitation des gouttes par exemple) affectent significativement les caractéristiques de l'écoulement. Une autre série de simulations sur une géométrie plus proche de la configuration d'intérêt (des tubes déformés avec des parois chaudes) a été lancée. L'effet de la turbulence est amplifié dans ces cas. Une analyse plus approfondie est en cours.



Effet des modèles représentant les phénomènes prépondérants sur la distribution volumique des gouttes. Les modèles par défaut surestiment l'effet de la force de portance et ils minimisent l'effet de la turbulence sur la distribution des gouttes.

- (a) Géométrie d'étude cylindrique, avec une fraction volumique des gouttes à l'entrée égale à 0.5%.
- (b) Cas avec les modèles par défaut,  $k-\epsilon$ , Tchen, le modèle Auton pour la force de portance.
- (c) Cas avec les modèles choisis, Rij- $\epsilon$ , Q2Q12, nouveau modèle de force de portance.

Sujet de la thèse :

Méthodes de correction de pression pour le modèle de dérive

**Walid KHERIJI**

Date de début :

11-2008

Laboratoire :

DPAM/SEMIC/LIMSI

Tuteur :

Jean-Claude LATCHE

Ecole doctorale :

Marseille - Mathématiques et informatique ED184

Directeur de thèse :

Raphaèle HERBIN

Financement :

Cofinancement Rég PACA

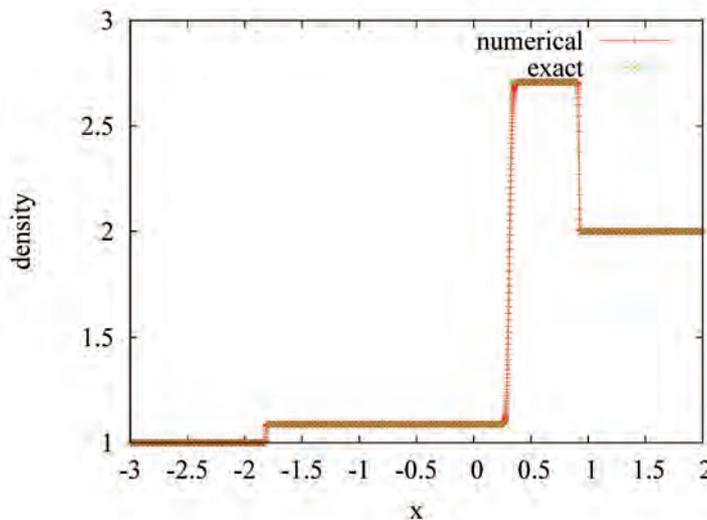
Pour les applications industrielles en mécanique des fluides, il est souvent recherché des schémas numériques :

- préservant certaines propriétés de stabilité, indépendamment du pas de temps, tout en évitant le « tout implicite » qui conduit à des problèmes algébriques difficiles voire impossibles (pour des maillages importants) à résoudre,
- précis (ou, à tout le moins, convergents), pour des écoulements allant de l'incompressible au compressible, ne serait-ce que parce que l'ensemble de la gamme est décrite dans certains problèmes particuliers.

Les méthodes de correction de pression sont de bons candidats pour satisfaire la première de ces contraintes, et sont d'un usage bien établi pour l'incompressible. Leur utilisation pour les écoulements compressibles est courante (ex : NEPTUNE CMFD), mais repose sur peu de fondements théoriques. L'objectif de cette thèse est de proposer des schémas de ce type, d'étudier leur propriétés théoriques et, par des expériences numériques, leur convergence, aussi bien vers des solutions lisses que vers des solutions présentant des chocs.

A ce jour, nous avons obtenu les résultats suivants :

- nous avons vérifié la convergence d'un schéma pour les problèmes barotropes, monophasiques et diphasiques, pour des solutions présentant des chocs, et apporté quelques éléments théoriques confortant la convergence observée,
  - Un schéma inconditionnellement stable a été construit pour les équations de Navier-Stokes usuelles (ie. non-barotropes).
- Ces résultats sont en cours de publication.



*Comparaison entre la solution analytique et numérique, pour un écoulement diphasique comportant initialement une discontinuité de taux de vide. Cette dernière, initialement localisée en  $x=0$ , se propage à la vitesse du fluide  $u$  ; elle est encadrée par deux chocs se propageant respectivement vers la gauche et vers la droite à la vitesse  $u-c$  et  $u+c$ , où  $c$  est la vitesse du son dans le mélange diphasique.*

### Sujet de la thèse :

Etude de la réactivité de produits de fission (I, Cd, Cs) transportés dans un mélange H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O en condition de combustion dans des flammes basse pression prémélangées.

**Yathis Giovanni DELICAT**

Date de début :

12-2008

Laboratoire :

DPAM/SERCI/L2EC

Tuteur :

Anne-Cécile GREGOIRE

Ecole doctorale :

Lille 1 - Sciences de la Matière du Rayonnement et de l'Environnement

Directeur de thèse :

Laurent GASNOT & Jean-François PAUWELS

Financement :

IRSN

Dans le cas hypothétique d'un accident grave dans un réacteur à eau pressurisée (REP), des Produits de Fission sont susceptibles d'être rejetés via le circuit primaire dans l'enceinte de confinement. C'est notamment le cas de l'isotope 131 de l'iode qui est radioactif et toxique.

Afin de simuler le transitoire accidentel et quantifier le relâchement potentiel de ces produits de fission, l'IRSN développe des outils de calculs prédictifs.

Une des difficultés rencontrées dans le développement de ces outils est le manque de données expérimentales validées sur la chimie de l'iode en situation accidentelle dans un mélange H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O à haute température. Des études expérimentales s'avèrent donc nécessaires pour une meilleure compréhension de la cinétique chimique impliquée.

Afin de reproduire des conditions proches de celles rencontrées en situation accidentelle à l'échelle du laboratoire et d'en étudier les aspects cinétiques, un réacteur expérimental de type « brûleur à flamme plate » a été mis en œuvre. Les présents travaux portent sur l'étude à haute température de flammes basse pression de prémélanges gazeux H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O/O<sub>2</sub>/Ar enrichis en iode sous forme d'iodure d'hydrogène. Les profils de température des flammes seront mesurés par thermocouple. Une première campagne de mesure des profils d'évolution des espèces chimiques stables (HI et H<sub>2</sub>O) par prélèvement d'échantillons gazeux par microsonde couplé à la spectrométrie d'absorption InfraRouge à Transformée de Fourier a été réalisée. L'utilisation en complément de la Fluorescence Induite par Laser, méthode de diagnostic laser non intrusive, permettra d'obtenir des informations qualitatives et quantitatives pour certaines espèces radicalaires clés (OH, I<sub>2</sub>, IO). L'établissement d'une base de données expérimentale dans différentes conditions de stabilisation des flammes (richesse, quantité d'H<sub>2</sub>O, taux d'ensemencement en HI, ...) servira de base pour le développement et la validation d'un modèle cinétique détaillé capable de rendre compte de la chimie de l'iode en condition accidentelle. La modélisation cinétique sera réalisée à l'aide du code PREMIX de la base de programmes CHEMKIN II. Des outils de chimie théorique seront également utilisés pour le calcul de données thermocinétiques des espèces chimiques impliquées. Le modèle cinétique ainsi validé pourra alors être introduit dans les outils de l'IRSN visant à prédire les quantités d'iode rejetées.



## Sujet de la thèse :

Etude cinétique de formation, d'agrégation et spéciation des oxydes d'iode ( $\text{IO}_x$ ) dans l'enceinte d'un réacteur nucléaire en situation d'accident grave

**Shaoliang ZHANG**

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DPAM/SEMIC/LETR

Tuteur :

Loïc BOSLAND

Ecole doctorale :

Provence-Marseille : Sciences de l'environnement

Directeur de thèse :

Anne MONOD

Financement :

Cofinancement EDF

La caractérisation (spéciation, forme) des espèces iodées pouvant être rejetées à l'environnement en cas d'accident dans un réacteur représente un enjeu de sûreté du fait du caractère radiotoxique de l'isotope  $^{131}\text{I}$ . Des incertitudes sur ces rejets demeurent, notamment sur la réactivité des espèces iodées volatiles ( $\text{I}_2$ ,  $\text{HI}$  et iodures organiques  $\text{RI}$ ) vis-à-vis d'oxydants présents dans l'air de l'enceinte de confinement, pouvant mener à la formation d'oxydes et nitroxydes d'iode. Cette incertitude doit être résolue car :

- le temps entre l'arrivée des espèces iodées dans l'enceinte et le rejet filtré ou non vers l'environnement favorise ces interactions,
- les espèces volatiles ont un comportement (dépôt, filtration) et un impact radiologique très différents des aérosols que les oxydes et nitroxydes d'iode vont former (faible pression de vapeur saturante).

Cette thèse vise ainsi à déterminer expérimentalement les cinétiques de destruction des espèces volatiles iodées en présence d'ozone et de radicaux  $\text{HO}^\bullet$  et à caractériser les espèces produites (oxydes d'iode) dans les conditions thermohydrauliques de l'enceinte.

Un dispositif expérimental de caractérisation des cinétiques de dégradation des espèces volatiles en présence de radicaux  $\text{HO}^\bullet$  générés par photolyse de l'eau a ainsi été mis au point au LCP dans le cadre de cette thèse. Ce dispositif inclut une technique de mesure in-situ des radicaux  $\text{HO}^\bullet$  (figure 1), ce qui permet de réaliser des mesures directes de constantes cinétiques de réactivité d'espèces iodées vis-à-vis de  $\text{HO}^\bullet$  à différentes températures (figure 2). Les cinétiques de destruction ont ainsi été déterminées pour les espèces volatiles d'intérêt ce qui a permis de valider la méthodologie expérimentale par comparaison avec des quelques données disponibles dans la littérature mais surtout de compléter la base de constantes cinétiques en conditions accidentelles. Ces constantes vont être confirmées par des travaux de chimie théorique en lien avec le C3R puis être intégrées dans le code ASTEC.

La dernière étape de la thèse concernera la caractérisation des aérosols d'oxydes d'iode. Des essais exploratoires ont été réalisés dans une chambre atmosphérique à l'université de Bayreuth qui collabore aussi à cette thèse. Les essais en conditions caractéristiques d'une enceinte vont être réalisés dans la chambre atmosphérique du LCP.

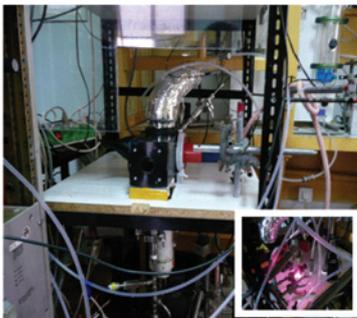
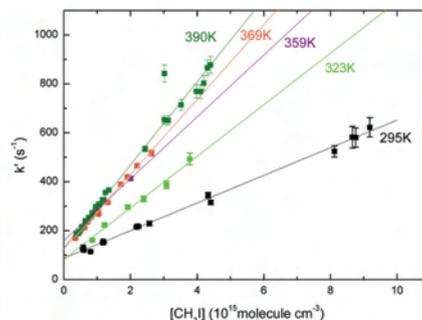


Figure 1 : dispositif expérimental

Figure 2 : cinétique de destruction de  $\text{CH}_3\text{I}$  par  $\text{OH}^\bullet$

Sujet de la thèse :

Etude des mécanismes de dégradation sous air à haute température des gaines de combustible nucléaire en alliage de zirconium

Isabel IDARRAGA

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DPAM/SERCI/L2EC

Tuteur :

Christian DURIEZ

Ecole doctorale : Grenoble - Ingénierie - Matériaux, Mécanique, Environnement, Energétique, Procédés, Production IMMEEP - ED510

Directeur de thèse :

Michel MERMOUX

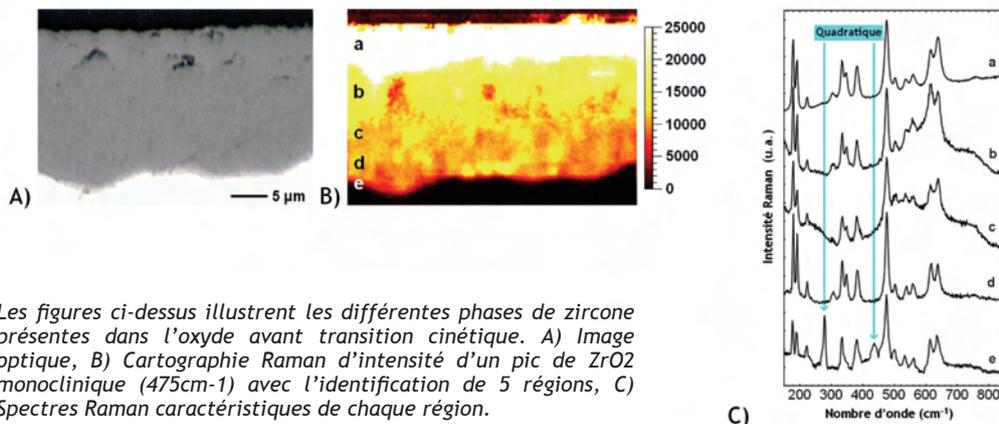
Financement :

Cofinancement AREVA NP

Dans les centrales nucléaires, des accidents de type dénoyage de piscine de stockage de combustibles usés, accidents de manutention ou de transport peuvent exposer à l'air les assemblages combustibles. Privés de refroidissement, leur température va s'élever et les gaines des crayons, en alliage à base de zirconium, vont s'oxyder. En comparaison avec une oxydation sous vapeur d'eau, la vitesse de dégradation des gaines est beaucoup plus élevée sous air à cause de l'enthalpie élevée de la réaction zirconium-oxygène. De plus sous air, une accélération cinétique est observée. Le rôle joué par l'azote dans cette accélération est à préciser, notamment dans la gamme de température comprise entre 800°C et 1000°C où est observée la formation de nitrure de zirconium dans l'oxyde.

Deux régimes cinétiques caractérisent l'oxydation des alliages de zirconium sous air et correspondent à la formation de deux différents types d'oxyde : un oxyde protecteur dense et colonnaire se forme en premier lieu, puis un oxyde poreux, non protecteur, se forme après fissuration de l'oxyde dense. L'objectif de la thèse est de décrire le mécanisme qui conduit à la rupture de l'oxyde dense et d'analyser le processus de formation de l'oxyde poreux, qui fait intervenir la formation de nitrures de zirconium à l'interface métal/oxyde.

Pour cela, nous utilisons principalement la micro-spectrométrie et l'imagerie Raman pour caractériser les couches de zircons formées. Les résultats sont discutés à l'aide d'inspections métallographiques et d'analyses EPMA et DRX. Nous avons caractérisé de manière complète des couches d'oxyde en termes de phases et de texture. Différentes phases de la zircone (monoclinique, quadratique et cubique) et leurs évolutions ont ainsi pu être mises en évidence et analysées en fonction de l'avancement de l'oxydation. La présence d'azote dans la zircone a été confirmée par des images Raman et des cartographies EPMA.



## Session parallèle

Sciences de l'environnement (géosciences et écotoxicologie)

Salle Marie Mauron

Jeudi 23 septembre : 16h40 - 18h20

Président de session  
François Bréchnignac, Collège des experts  
Direction scientifique

**Vincent ROCHE** (doctorant DSU) Caractérisation de la fracturation différentielle dans les alternances argilo-calcaires : observation de terrain et modélisation numérique

**Chloé LESUEUR** (doctorante DEI) Analyse des effets macrosismiques sur la base des questionnaires individuels (BCSF) et confrontation aux données accélérométriques françaises (RAP)

**Benjamin FRASCA** (doctorant DEI) Comparaison entre la dispersion spatiale et les incertitudes expérimentales des paramètres de diffusion de l'eau dans des roches argileuses indurées

**Simone AL KADISSI** (doctorante DEI) Comparaison de la réponse de l'écrevisse *Orconectes limosus* après exposition à un polluant métallique (Cadmium) et un polluant radiologique (uranium 238 et 233)

**Starr AUGUSTINE** (doctorante DEI) Modélisation de l'impact de l'uranium sur les flux énergétiques individuels chez le poisson zèbre, *Danio rerio* : application de la théorie du Budget Énergétique Dynamique (DEB)

Sujet de la thèse :

Caractérisation de la fracturation différentielle dans les alternances argilo-calcaires : observation de terrain et modélisation numérique

**Vincent ROCHE**

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DSU/SSIAD/BERIS

Tuteur :

Muriel ROCHER

Ecole doctorale :

Paris VI - Géosciences et ressources naturelles - ED 398

Directeur de thèse :

Catherine HOMBERG

Financement :

IRSN

---

Cette étude s'inscrit dans le cadre des recherches menées par l'IRSN pour permettre d'évaluer la sûreté d'une éventuelle installation de stockage de déchets radioactifs en formation argileuse profonde. Elle est réalisée en partenariat avec l'Université Paris 6, et vise notamment à identifier les processus qui contrôlent la propagation et la restriction des failles dans les alternances argilo-calcaires ainsi que leur architecture dans les formations argileuses.

Dans cet objectif, à la suite d'une synthèse bibliographique, nous avons étudié environ 50 failles normales affectant sept alternances argilo-calcaires dans le bassin du Sud-Est (France) et d'âge, d'échelle et de nature des roches différents. L'analyse de chacune des failles et de son environnement comprend notamment une cartographie des fractures, des profils de déplacement et des données microstructurales. L'interprétation des données montre que l'interface argile/calcaire ou la présence de failles sub-horizontales dans les argiles peuvent stopper la propagation d'une faille au niveau des calcaires (failles restreintes).

Nous avons aussi analysé deux types de failles affectant les unités argileuses (failles non restreintes): certaines s'arrêtent au sein des argiles et d'autres traversent la totalité des argiles. Dans le premier cas, une réduction du déplacement dans les argiles accommodée par plissement ou tassement contrôle la profondeur de propagation de la faille. Dans le deuxième cas, la longueur de la faille dans les argiles, qui est fonction de l'épaisseur des argiles, de la présence d'une faille sub-horizontale et du pendage de la faille, contrôle la variation de déplacement entre deux unités calcaires successives. Dans les deux cas, le milieu argileux « décourage » la propagation verticale des failles par rapport au milieu carbonaté. Il est aussi montré que (i) le pendage des failles est plus faible dans les argiles que dans les calcaires et varie suivant les sites étudiés, (ii) des connexions entre segments de failles sont plus fréquentes dans les argiles et (iii) la présence de failles sub-horizontales dans les argiles modifie complètement l'architecture globale de la fracturation.

En perspective, nous poursuivrons par une approche mécanique (essais mécaniques et modélisation numérique) afin de préciser le rôle des paramètres géomécaniques principaux.

Sujet de la thèse :

Analyse des effets macrosismiques sur la base des questionnaires individuels (BCSF) et confrontation aux données accélérométriques françaises (RAP)

**Chloé LESUEUR**

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DEI/SARG/BERSSIN

Tuteur :

Oona SCOTTI

Ecole doctorale :

Strasbourg - Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, (EOST)

Directeur de thèse :

Michel CARA

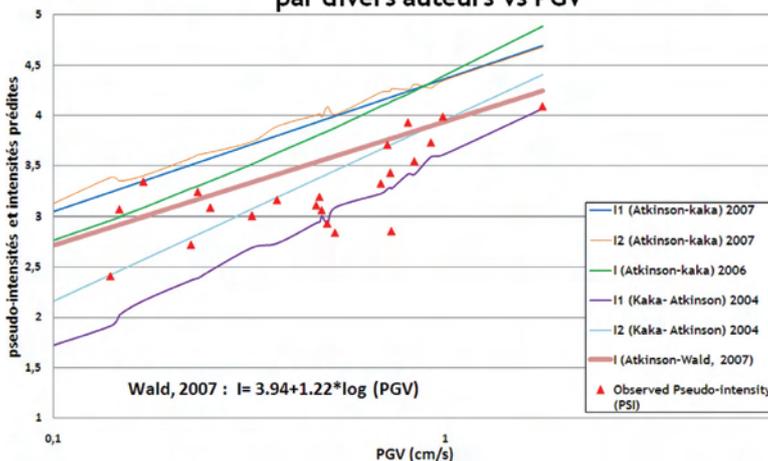
Financement :

Cofinancement CNRS/EOST

Les mouvements sismiques du sol peuvent être caractérisés de manière instrumentale et macrosismique, à partir des effets observés. Cette étude vise à relier ces deux types de données grâce à la collecte de témoignages effectuée par le BCSF via un formulaire internet de 50 questions ([www.franceseisme.fr](http://www.franceseisme.fr)). Un total de 21362 formulaires a été rempli par les témoins de 3 séismes de l'est de la France (Rambervillers (Mw= 4.8 2003), Roulans (Mw = 4.5, 2004) et Waldkirch (Mw = 4.6, 2004)). L'objectif final de l'étude est de pouvoir mieux caractériser le mouvement du sol sur le territoire français dont la couverture par des stations accélérométriques reste très limitée. En effet, seules 9 stations accélérométriques du RAP ont pu enregistrer les trois séismes. A chaque formulaire le BCSF attribue une pseudo-intensité (pl) à l'aide de l'échelle macrosismique EMS98. La densité des témoignages autour de chaque station étant relativement faible, une valeur moyenne des (pl)MOY, calculée sur des cercles de 10 km autour de chaque station, a été comparée aux différents indicateurs du mouvement du sol (PGA, PGV, Intensité d'Arias, CAV) déduits des enregistrements aux stations.. Comme le montre la Figure, la tendance PGV-(pl)MOY est cohérente avec la majorité des équations prédictives Intensité-PGV disponibles dans la littérature. Ce résultats permet d'ores et déjà de conclure que la pseudo-intensité et l'intensité déduite de manière classique à partir de formulaires collectifs sont cohérentes.

Afin d'étudier plus finement les réponses aux champs de questions par rapport au contenu spectral des signaux, une corrélation des réponses aux 50 questions du formulaire à permis d'en regrouper douze en quatre champs. Ensuite, dans les mêmes cercles de 10km, une corrélation a été calculée entre les réponses aux 5 champs (4 champs + pl) et les spectres de réponses PSA. Cette étude montre que pl et mouvements vibratoires sont les champs qui corréler le mieux avec le PSA pour des fréquences inférieures à 10 Hz. En accord avec la littérature et pour les niveaux d'intensité étudiés (pl< 5), les effets observés sont contrôlés par la vitesse du sol plutôt que par l'accélération. Cependant, le comportement reste variable d'un séisme à l'autre.

**Pseudo-intensités observées et intensités prédites par divers auteurs vs PGV**



### Sujet de la thèse :

Comparaison entre la dispersion spatiale et les incertitudes expérimentales des paramètres de diffusion de l'eau dans des roches argileuses indurées

**Benjamin FRASCA**

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DEI/SARG/LR2S

Tuteur :

Charles WITTEBROODT

Ecole doctorale : Paris XI - Dynamique et Physico-chimie de la Terre et des Planètes - ED 143

Directeur de thèse :

Jean-Luc MICHELOT

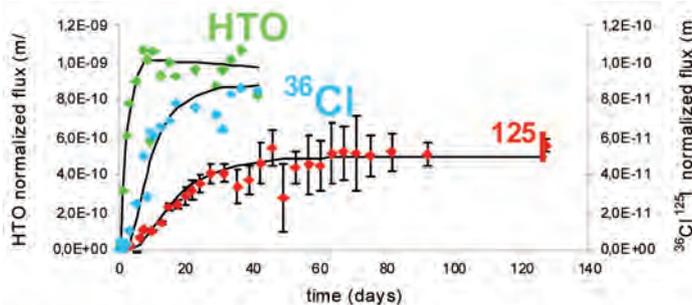
Financement :

Cofinancement Nagra et CEA

Les roches argileuses sont considérées comme de potentielles roches-hôtes pour le stockage en profondeur des déchets radioactifs à vie longue, de moyenne et forte activité. Elles présentent en effet des propriétés de rétention et une faible perméabilité qui limitent le transport des radionucléides au mécanisme de diffusion. Les argiles étant chargées négativement, les anions ne s'y sorbent pas ou peu. Ainsi, l'iode-129 ( $t_{1/2}$  vie =  $15,7 \cdot 10^6$  ans) et le Sélénium-79 ( $t_{1/2}$  vie =  $2,95 \cdot 10^5$  ans), issus des déchets nucléaires, appartiendraient-ils aux radio-éléments les plus pénalisants en terme de sûreté.

L'objectif de cette étude est d'estimer le comportement diffusif de l'iode et du sélénium, deux espèces sensibles au redox, dans des conditions physico-chimique proches des conditions in-situ (redox et pression partielle de  $\text{CO}_2$ ). Des expériences de through-diffusion et de batch ont été réalisées conjointement afin de déterminer la diffusion et la rétention de l'iode et du Sélénium dans des roches argileuses. Deux roches argileuses (les argilites Toarcienne de Tournemire ainsi que sur les Argiles à Opaline du Mont Terri (Suisse)) ont été sélectionnées avec pour objectif de comparer l'effet de la minéralogie et de la géochimie sur le comportement de ces deux éléments. La première partie de cette thèse s'est intéressée à l'étude de l'iode. Les effets de la concentration initiale en I<sup>-</sup> sur la migration de cet élément ont été évalués en menant des expériences de diffusion avec des concentrations en I<sup>-</sup> allant de  $10^{-6}$  M à  $10^{-3}$  M. Ce choix fait suite à des études antérieures (*Bazer-Bachi et al., 2007*) qui ont montré que la sorption des I<sup>-</sup> était fortement dépendante de leurs concentrations initiales. Cette étude est toujours en cours mais les premiers résultats des expériences de diffusion et de rétention indiquent l'absence d'une quelconque sorption de l'iode sur et ce, quelque soit la concentration initiale.

La deuxième partie de cette thèse s'intéresse à l'étude du sélénium. Les résultats préliminaires obtenus sur les deux roches précédemment citées mettent en évidence une forte rétention des Sélénites ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ) avec un  $K_d$  allant de 5 ml/g à 70 ml/g. A ce jour, ces expériences de diffusion et de rétention sont toujours en cours. Une étude spectroscopique couplant  $\mu\text{XRF}$  et  $\mu\text{XAS}$  est envisagée dans les prochains mois avec pour objectifs l'identification des phases minérales à l'origine de la rétention du sélénium ainsi que la détermination de l'état d'oxydation du sélénium sorbé ou précipité.



## Sujet de la thèse :

Comparaison de la réponse de l'écrevisse *Orconectes limosus* après exposition à un polluant métallique (Cadmium) et un polluant radiologique (uranium 238 et 233)

**Simone AL-KADDISSI**

Date de début :

10-2008

Laboratoire :

DEI/SECRE/LRE

Tuteur :

Olivier SIMON

Ecole doctorale :

Bordeaux I - Sciences et environnement (ED, 304)

Directeur de thèse :

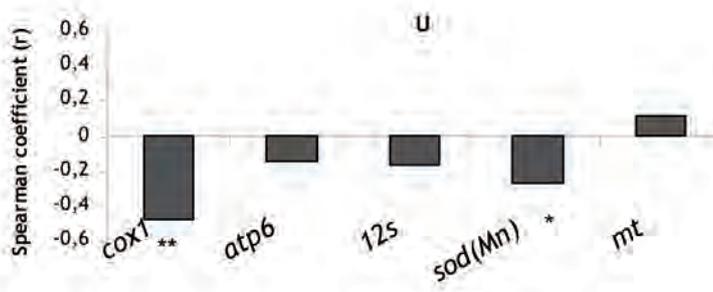
Magalie BAUDRIMONT

Financement :

Cofinancement BDI CNRS

L'étude menée repose sur la comparaison de la réponse de l'écrevisse *Procambarus clarkii* après exposition au cadmium (Cd) et à l'uranium (U). Ce travail, inclus dans le programme ENVIRHOM-Eco, a pour objectifs de mieux comprendre les réponses biologiques après exposition aux radionucléides et d'évaluer la part respective de la radio- et chimio-toxicité, dans le but de proposer à terme l'utilisation de biomarqueurs sensibles à ces polluants chez l'écrevisse. L'originalité de ce travail mené principalement sur l'U repose sur l'étude des réponses à plusieurs niveaux d'intégration biologique (expression de gènes mitochondriaux : *12S*, *cox1* et *atp6* et de gènes impliqués dans la réponse au stress oxydant : *mt*, *sod*, , activité d'enzymes anti-oxydantes : CAT, GR, GST et GPX ; induction des métallothionéines , -glutathion- ; peroxydation lipidique ; atteintes structurales cellulaire et tissulaire) et à comparer ces réponses à celles obtenues pour un métal dont la toxicité est mieux connue, le Cd. A ces réponses biologiques s'ajoute l'étude de la distribution cellulaire et tissulaire de l'U dans les organes cibles du modèle biologique (branchies et hépatopancréas). Trois séries d'expérimentations ont été réalisées: (1) l'étude des réponses dans une large gamme d'exposition au Cd et à l'U appauvri ( $U_{app}$ ) après une courte durée d'exposition (10 jours, 0.05 à 10 mg/L) ; (2) l'évaluation de la radiotoxicité et de la chimiotoxicité de l'U. L'exposition à l' $^{233}U$  (à forte activité spécifique) a permis d'augmenter l'exposition aux rayonnements ionisants par rapport à  $U_{app}$  (10 jours d'exposition à 30  $\mu\text{g/L}$ ) ; (3) la recherche des marqueurs identifiés au cours de la première expérimentation après exposition chronique à faible dose (60 jours ; 30  $\mu\text{g U/L}$  ou 10  $\mu\text{g Cd/L}$ ). Une corrélation significative a été montrée entre l'expression de gènes cibles (*sod*, *cox*) et les niveaux de bioaccumulation en U (figure 1).

Au cours de la 3ème année, l'effort portera sur le séquençage de nouveaux gènes participant à la régulation du stress oxydant, la prise en compte la filiation de l'U (principalement le thorium) dans la caractérisation des effets observés et à la réalisation d'expériences in situ (sites miniers) pour valider les marqueurs retenus.



Sujet de la thèse :

Modélisation de l'impact de l'uranium sur les flux énergétiques individuels chez le poisson zèbre, *Danio rerio* : application de la théorie du Budget Énergétique Dynamique (DEB)

Starr AUGUSTINE

Date de début :

12-2008

Laboratoire :

DEI/SECRE/LRE

Tuteur :

Béatrice GAGNAIRE

Ecole doctorale :

Aix-Marseille - Sciences de l'environnement - ED251

Directeur de thèse :

Christelle ADAM & S.A.L.M. KOOIJMAN

Financement :

Cofinancement Rég PACA

L'uranium est un métal lourd présent naturellement dans les systèmes dulçaquicoles. Certaines activités anthropiques contribuent à augmenter les teneurs en cet élément dans les eaux. Ces travaux de thèse réalisés sur le poisson zèbre s'inscrivent dans le projet ENVIRHOM-Eco -qui vise à comprendre les effets d'une exposition chronique à de faibles concentrations sur les différents niveaux d'organisation biologique- se focalisent sur (1) les effets de l'uranium sur le métabolisme d'un individu tout au long de son cycle de vie et (2) les extrapolations des effets individuels jusqu'au niveau de la population. Ces travaux appliquent la théorie du Budget Dynamique Énergétique (DEB), qui permet de formaliser les aspects quantitatifs de l'organisation du métabolisme pour tous les êtres vivants.

Une compilation de données bibliographiques ainsi que les données issues d'une expérience de suivi de la croissance et de la reproduction à trois niveaux de nutrition a permis de paramétrer un modèle standard DEB appliqué au poisson zèbre (1ère année). Le modèle comporte 13 paramètres primaires possédant une signification physiologique. Les effets d'un polluant sur le métabolisme sont traduits par une modification des paramètres du modèle. Le premier paramètre à être modifié en présence d'un contaminant constitue le mode d'action toxique prédominant sur le métabolisme. Afin de déterminer quel paramètre est modifié par l'uranium, une deuxième expérience visant à mesurer la croissance et la reproduction du poisson zèbre exposé à deux concentrations d'uranium appauvri (20 et 100 µg/L) a été réalisée (2ème année).

La prochaine étape du travail (3ème année) consistera à ajuster le modèle DEB aux données acquises sur les individus exposés afin d'évaluer quel paramètre est ciblé par l'uranium. Les conséquences au niveau de l'individu seront évaluées en comparant les sorties du modèle avant et après modification du paramètre. Une troisième expérience portera sur l'effet de l'uranium sur la croissance larvaire dans le but de tester si les effets sur l'ensemble du cycle de vie peuvent être capturés par la modification d'un même paramètre.

Ce travail basé sur l'individu constitue le fondement pour le deuxième axe de cette thèse : extrapoler les effets observés au niveau individuel à celui de la population.

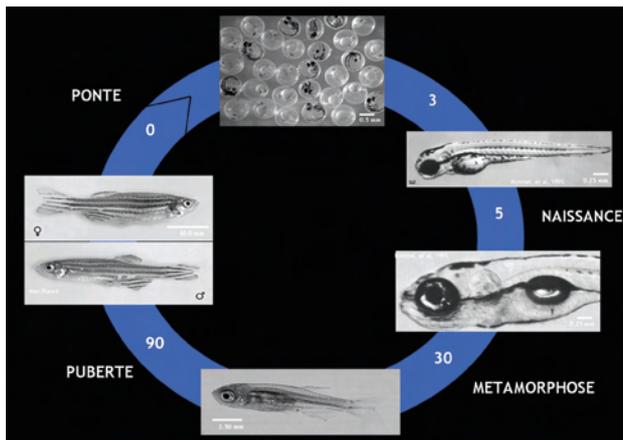


Figure 1 : Traits d'histoire de vie de *Danio rerio*. Les nombres indiquent les jours post fécondation. La naissance marque la transition entre l'embryon et la prolarve qui ne se nourrissent pas et le juvénile qui assimile la nourriture. La métamorphose est achevée lorsque le juvénile prend la forme d'un adulte. La puberté marque la transition entre le juvénile et l'individu sexuellement mature.

## Session plénière

sciences de l'environnement (géosciences)

Salle Marie Mauron

Jeudi 23 septembre : 18h35 - 19h50

Président de session  
Helmut Pitsch, Direction scientifique

**Joachim TREMOSA** (doctorant DEI) Influence de l'osmose sur les surpressions mesurées dans la couche argileuse de Tournemire (Aveyron, France)

**Fethi BENSENOUCI** (doctorant DEI) Apport des traceurs naturels à la compréhension des transferts au travers d'une couche argileuse : application aux argilites de Tournemire (Aveyron, France)

**Nicolas LOFFREDO** (doctorant DEI) Devenir et transformation du séléniate dans les sols : mobilité, spéciation solide, cinétique de réduction.

Sujet de la thèse :

Influence de l'osmose sur les surpressions mesurées dans la couche argileuse de Tournemire (Aveyron, France)

**Joachim TREMOSA**

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DEI/SARG/LR2S

Tuteur :

Jean Michel MATRAY

Ecole doctorale :

Paris VI - Géosciences et ressources naturelles - ED 398

Directeur de thèse :

Sophie VIOLETTE

Financement :

Cofinancement AMPHOS

---

Dans le cadre des études portant sur la faisabilité d'un stockage de déchets radioactifs dans des formations argileuses, la signification des pressions interstitielles est une question importante pour comprendre les transports d'eau et de solutés.

Dans les formations argileuses, tel que celle étudiée par l'ANDRA à Bure, la pression interstitielle est fréquemment supérieure à la pression hydrostatique théorique. Une telle surpression est aussi enregistrée au sein de la formation argileuse du Toarcien/Domérien, étudiée au laboratoire souterrain de recherche de l'IRSN, à Tournemire (Aveyron).

L'origine de cette surpression peut-être due à des déséquilibres de compaction de la formation argileuse, à l'histoire diagenétique de la roche, à des compressions tectoniques, à des changements de conditions hydrodynamiques aux limites de la formation ou à des phénomènes d'osmose. Parmi ces derniers, l'osmose chimique, un flux d'eau sous un gradient de concentration, et l'osmose thermique, un flux d'eau sous un gradient de température, sont susceptibles de se développer dans les milieux argileux par le fait de la faible taille des pores et des interactions électrostatiques liées aux charges de surface des minéraux argileux.

Au cours de ma thèse, je me propose d'étudier et de quantifier l'importance de chacun des processus responsables des surpressions à Tournemire. Les paramètres de couplage associés aux deux processus d'osmose, thermique et chimique, sont acquis respectivement au cours d'expériences in situ dans un forage équipé d'une chambre de test et sur échantillons. Lors des expériences d'osmose thermique, l'eau en équilibre avec la formation est remplacée par une eau plus chaude (incrément de 2.5, 4.9 et 9°C) mais de concentration identique et à pression constante. Le gradient de température créé entre le forage et la formation argileuse induit alors un flux d'eau du forage vers la roche. Les expériences d'osmose chimique sont menées en induisant un flux d'eau au travers d'un échantillon d'argilite sous l'effet d'un gradient de salinité. Les réponses en pression, concentration et température obtenues sont ensuite simulées avec un modèle hydro-thermo-chemo-mécanique fondé sur les lois de conservation de la masse combinées avec les équations de flux couplés. Ces calculs permettent d'obtenir la perméabilité thermo-osmotique ainsi que l'efficacité d'osmose chimique de l'argilite de Tournemire.

Ces résultats sur les flux osmotiques ainsi que des considérations sur le comportement hydromécanique de la formation argileuse sont utilisés afin d'interpréter le profil de pression à Tournemire.

## Sujet de la thèse :

Apport des traceurs naturels à la compréhension des transferts au travers d'une couche argileuse : application aux argilites de Tournemire (Aveyron, France)

Fethi BENSENOUCI

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DEI/SARG/LR2S

Tuteur :

Jean Michel MATRAY

Ecole doctorale :

Paris XI - Physico-chimie de la terre

Directeur de thèse :

Jean-Luc MICHELOT & Niklaus WABER

Financement :

IRSN

Ce travail s'inscrit dans le cadre des études et recherches menées par l'IRSN sur la sûreté d'un stockage géologique des déchets radioactifs HA-MAVL (Haute Activité et Moyenne Activité à Vie Longue), et plus particulièrement sur la barrière géologique, une des composantes du concept multi-barrière (colis, barrière ouvragée, barrière géologique) proposé par l'Andra.

La formation argileuse du Callovo-Oxfordien, située dans l'Est de la France, est le milieu géologique actuellement étudié par l'Andra pour potentiellement accueillir le futur stockage. L'IRSN, dans le cadre de ses recherches, exploite, à Tournemire, une station expérimentale de recherche dans les argiles du Domérien/Toarcien. Celles-ci, du fait de leurs caractéristiques, présentent des analogies fortes avec les argiles du Callovo-Oxfordien.

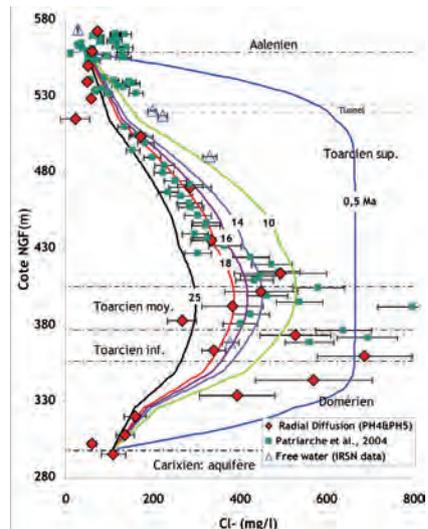
L'évaluation des performances de la barrière géologique repose sur la maîtrise des paramètres de transport en son sein. Le travail de thèse s'inscrit dans cet objectif et, plus spécifiquement sur l'apport des traceurs naturels à la compréhension des mécanismes de transfert.

Une étude des profils de traceurs naturels des eaux porales ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  et  $4\text{He}$ ), à partir d'échantillons provenant de forages (i) dans le Callovo-Oxfordien et (ii) dans le Domérien/Toarcien a été menée. Deux méthodes expérimentales ont été appliquées pour la détermination de ces traceurs et l'estimation de leurs coefficients de diffusion : (1) l'échange diffusif en phase vapeur, méthode conventionnelle et (2) la diffusion radiale, méthode développée à l'IRSN.

Dans les argilites de Tournemire, les profils des différents traceurs se présentent sous la forme d'une courbe en cloche, caractéristique d'un échange diffusif entre l'eau porale initiale des argilites et celle de son encaissant aquifère sous influence météorique. Les modélisations réalisées indiquent que ce processus de diffusion aurait débuté depuis au moins 5 Ma pour le deutérium) et 15 Ma pour le chlorure ; ces résultats sont en bon accord avec l'histoire paléo-hydrogéologique de la région des Grands Causses.

Pour les formations mésozoïques de l'Est de la France, l'étude des profils, a confirmé que le processus de diffusion est dominant au sein de la formation du Callovo-Oxfordien et a permis de préciser les paramètres de transport sur la totalité de la colonne stratigraphique allant de l'Oxfordien au Lias.

A travers ce travail, nous avons ainsi mis en œuvre diverses techniques expérimentales, combinant géochimie et hydrogéologie, se révélant comme de puissants outils pour la caractérisation des transferts dans les formations argileuses compactées.



Comparaison des profils simulés du chlorure (en Ma) avec les données expérimentales en considérant comme condition initiale les concentrations d'eau marine.

Sujet de la thèse :

Devenir et transformation du séléniate dans les sols : mobilité, spéciation solide, cinétique de réduction.

Nicolas LOFFREDO

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DEI/SECRE/LRE

Tuteur :

Frédéric COPPIN

Ecole doctorale :

Aix-Marseille - Sciences de l'environnement - ED251

Directeur de thèse :

Stéphane MOUNIER

Financement :

Cofinancement PACA + ANDRA

Dans le contexte des futurs stockages des matières nucléaires en couches géologiques profondes, le transfert de sélénium 79 des eaux de nappes vers la biosphère, par le biais de l'irrigation, est un des scénarii envisagés par l'ANDRA. Le sol servirait alors d'interface entre la géosphère et la biosphère.

Le modèle actuellement utilisé pour évaluer la mobilité de nombreux éléments dans le sol repose sur une représentation simple de leur distribution entre la quantité adsorbée sur le sol et la quantité restante en solution (modèle Kd), considérée comme instantanée, réversible et linéaire avec la concentration de contamination. Ce modèle présente des lacunes vis-à-vis du sélénium puisque ce dernier peut être présent sous différents états redox qui contrôlent sa mobilité et dont les cinétiques de transformation entre ces états sont peu connues (Se(-II), Se(0), Se(IV) et Se(VI)).

Dans le but d'améliorer les prédictions faites sur la mobilité du sélénium dans un sol, le séléniate (Se(VI)), qui est la forme la plus mobile, a été utilisé pour étudier ses interactions vis-à-vis de deux sols différents. Un modèle cinétique, alternatif au modèle Kd, a été développé pour décrire l'évolution des stocks de Se(VI) en solution, en considérant une fraction de sélénium associée au sol de façon réversible (potentiellement mobile) et une fraction stabilisée sur le sol (fixée irréversiblement). Ce modèle intègre des cinétiques de stabilisation biotique et abiotique sur le sol, et une cinétique de réduction en solution (Figure 1). Afin d'obtenir les paramètres du modèle, des expériences en réacteurs à flux continu ont été menées (i) dans des conditions stériles (par autoclavage) et (ii) dans des conditions non stériles. L'étape (i) a permis d'obtenir les paramètres cinétiques  $k_{s_1}^{solide}$  ;  $k_{s_{-1}}^{solide}$  et  $k_r^{solide}$  par ajustement numérique entre le modèle et les données expérimentales. L'étape (ii) a permis, en utilisant les paramètres cinétiques précédemment obtenus, d'ajuster le paramètre  $k_r^{biotique}$ . Dans les conditions testées, aucune cinétique de réduction en solution n'a été observée ( $k_{solution} = 0$ ). Une confrontation des résultats obtenus entre les modèles alternatifs et Kd pourra être réalisée pour des scénarii spécifiques, des expériences en colonnes de sol afin de définir leurs limites d'utilisation.

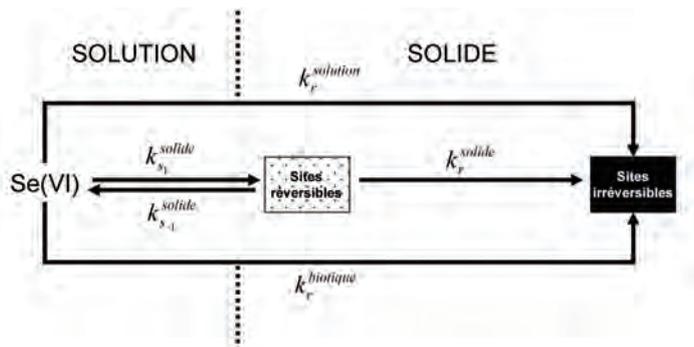


Figure 1 : Modèle cinétique spécifique au Se(VI), permettant de décrire sa distribution entre les différentes fractions d'un système sol + solution du sol.

# Session plénière

## Sûreté

Salle Marie Mauron

Vendredi 24 septembre : 8h20 - 10h50

Président de session  
Michel Schwarz, Directeur scientifique

**Marion LACOUÉ** (doctorante DPAM) Etude 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

**Fan ZHANG** (doctorant DPAM) Modélisation de la remise en suspension mécanique de particules par des écoulements turbulents.

**Clément INTROINI** (doctorant DPAM) Interaction entre un fluide à haute température et un béton : contribution à la modélisation des échanges de masses et de chaleur.

**Olivier ZANELLATO** (post-doctorant DPAM) Caractérisation expérimentale sous synchrotron des cinétiques de précipitation des hydrures dans les gaines de crayons de combustible

**Sebastian MINJEAUD** (doctorante DPAM) Raffinement Local Adaptatif et Méthodes Multiniveaux pour la Simulation d'Écoulements Multiphasiques.

**Benoît KREBS** (post-doctorant DPAM) Analyse de l'influence du mode d'hydruration artificielle sur les efforts internes dans les gaines de combustible

### Sujet de la thèse :

Etude 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

**Marion LACOUÉ-NEGRE**

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DPAM/SERCI/L2EC

Tuteur :

Hervé MUTELLE

Ecole doctorale :

Lille - Sciences de la matière, du rayonnement et de l'environnement

Directeur de thèse :

Claude BREMARD & Sophie SOBANSKA

Financement :

Cofinancement BDI CNRS

En cas d'accident grave sur un réacteur à eau sous pression, l'évaluation de la quantité d'iode susceptible d'être rejetée dans l'environnement revêt une grande importance du fait de la radiotoxicité et du caractère volatil de cet élément. A ce jour, les connaissances acquises et les modèles utilisés ne permettent pas de rendre compte complètement du comportement de l'iode observé lors d'essais à grande échelle (programme PHEBUS). L'une des explications avancées serait que l'iode trouvé dans l'environnement de confinement viendrait directement du circuit primaire où les interactions entre les produits de fission et les matériaux de structure sont complexes. Pour apporter des éléments de réponse, une ligne expérimentale nommée GAEC a été développée dans le cadre de la thèse. Elle recrée autant que possible les conditions régnant dans le circuit primaire. Les mesures ont porté naturellement sur la quantité d'iode présente sous forme gaz en sortie du dispositif, mais également sur la composition moléculaire des aérosols, qui peut apporter des informations sur les réactions et les phénomènes mis en jeu.

On présente dans ce papier les résultats d'essais de sublimation simultanée de  $\text{MoO}_3$  et de  $\text{CsI}$  sous vapeur d'eau, avec un rapport molaire  $\text{Mo/Cs}$  de l'ordre de 3-4. L'analyse des particules collectées sur les filtres par microscopie électronique à Balayage à effet de champ (MEB-FEG) montre des particules lamellaires submicroniques, dont la taille est comprise entre 100 et 500 nm. Les ratios élémentaires obtenus par ICP-MS sont égaux à 4 pour  $\text{Mo/Cs}$  et 61 pour  $\text{Cs/I}$ . L'analyse par microspectrométrie Raman des particules nous a permis de détecter, outre la présence de  $\alpha\text{-MoO}_3$ , l'existence des molybdates de césium  $\text{Cs}_2\text{Mo}_5\text{O}_{16}$  et  $\text{Cs}_2\text{Mo}_7\text{O}_{22}$ .

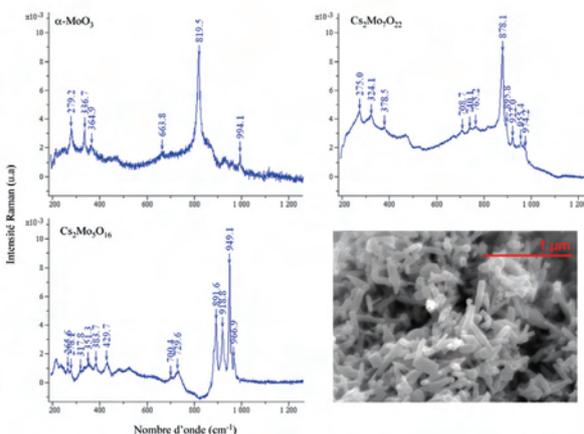


Figure 1 : Exemple d'une image MEB-FEG des particules produites dans le banc GAEC, et les spectres Raman des espèces  $\alpha\text{-MoO}_3$ ,  $\text{Cs}_2\text{Mo}_5\text{O}_{16}$  et  $\text{Cs}_2\text{Mo}_7\text{O}_{22}$  détectées sur le filtre.

La Figure 1 présente une image typique des particules collectées et des spectres Raman obtenus. Enfin, une quantité importante d'iode a été mesurée sous forme gaz. A l'aide des informations rassemblées, nous avons pu évaluer la fraction molaire d'iode sous forme gaz à 99% de l'inventaire total en iode en sortie du dispositif.

La comparaison des résultats expérimentaux avec les résultats de calculs réalisés à l'aide du code Sophaéros, fait apparaître des différences, sur la fraction d'iode gazeuse en sortie de ligne et sur les rapports molaires des éléments composant les aérosols. A l'aide de calculs de sensibilité et en s'appuyant sur les observations expérimentales, on tente d'expliquer ces différences et on propose des améliorations du dispositif expérimental et de la modélisation.

Sujet de la thèse :

Modélisation de la remise en suspension mécanique de particules par des écoulements turbulents.

Fan ZHANG

Date de début :

01-2008

Laboratoire :

DPAM/SEMIC/LETR

Tuteur :

Martin KISSANE

Ecole doctorale :

University of Newcatle

Directeur de thèse :

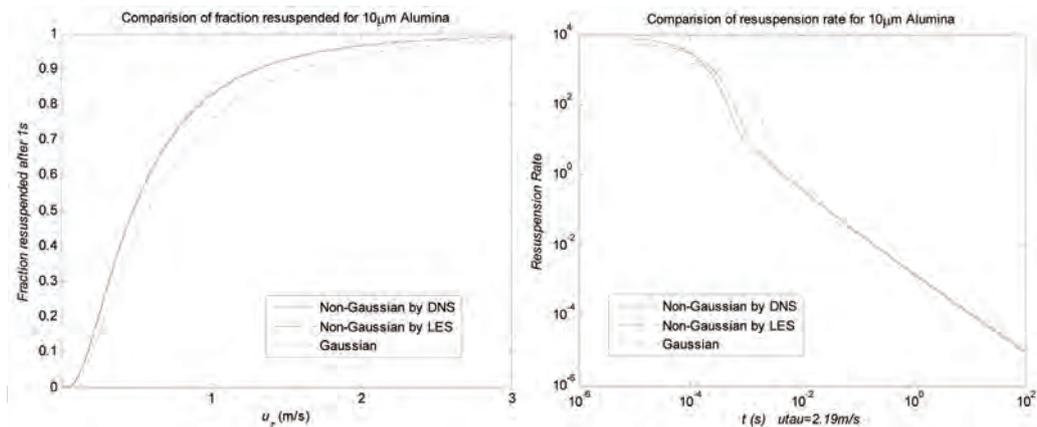
M REEKS & Richard J. PERKINS

Financement :

IRSN

The work presented is concerned with the way small particles attached to a surface are resuspended when exposed to a turbulent flow. Of particular concern to this work is the release of radioactive particles from the primary circuit of an LWR as a consequence of a loss of coolant accident (LOCA). In this particular case the focus is on small particles < 5 microns in size, where the principal force holding the particle onto a surface is derived from van der Waals inter molecular forces. Here an improved version of the Rock'n'Roll model is developed based on a statistical approach to resuspension which gives rise to a resuspension rate constant for the release of particles from a potential well due the action of the fluctuating aerodynamic force due to the turbulence. In this work the model is improved by using measurements of the statistical fluctuations of both the stream wise fluid velocity and acceleration close to the wall from LES and DNS of turbulent channel flow, translating those measurements into the statistical moment of the drag force acting on the particle attached to the surface. As a result, in terms of the comparison of resuspension fraction, the first graph shows there is hardly any difference between LES and DNS approaches. For the resuspension rate (the second graph), the modified model from DNS data has a larger resuspension rate in the beginning than the LES approach. However, the difference of them is not very significant compared with the difference to the original model.

The ultimate model may well be a hybrid development of R'n'R model adapted for application to multilayer deposits which wi



Sujet de la thèse :

Interaction entre un fluide à haute température et un béton : contribution à la modélisation des échanges de masses et de chaleur.

Clément INTROÏNI

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DPAM/SEMIC/LIMSI

Tuteur :

Fabien DUVAL

Ecole doctorale : Toulouse - Mécanique, énergétique, génie civil, procédés (MEGEP) - ED468

Directeur de thèse :

Michel QUINTARD

Financement :

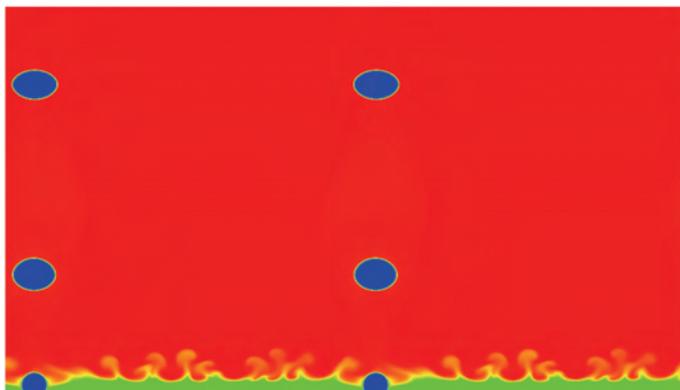
IRSN

Dans les derniers instants d'un hypothétique accident grave de réacteur à eau sous pression, un mélange de matériaux fondus, appelé corium, issu de la fusion du cœur est relocalisé dans un radier en béton. Les outils actuels pour simuler la phénoménologie de l'interaction corium-béton et estimer le temps de percement du radier sont basés sur une description à grande échelle des échanges qui soulève de nombreuses questions, tant sur la modélisation des échanges mettant en jeu plusieurs échelles de description que sur la structure adoptée de la couche limite au voisinage du front d'ablation.

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est double; il s'agit d'une part de développer un outil de simulation numérique directe de l'écoulement afin d'avoir accès à la structure de la couche limite difficilement accessible par l'expérience et d'autre part, de construire des modèles d'échange sur la base d'une description multi-échelle.

L'outil de simulation numérique directe correspond à un modèle de Cahn-Hilliard/Navier-Stokes pour un mélange diphasique (liquide-gaz) compositionnel (corium-béton fondu). Ce modèle s'appuie sur une description du système selon trois paramètres d'ordre associés respectivement aux fractions volumiques du gaz et aux deux espèces miscibles de la phase liquide ainsi que sur une décomposition de l'énergie libre selon une contribution diphasique et compositionnelle. Les équations de transport sont dérivées dans le cadre de la thermodynamique des processus irréversibles et résolues sur la base d'une application éléments finis de la plate-forme PELICANS. Quelques expériences numériques illustrent la validité et les potentialités du modèle et une première étude est menée sur la structure de la couche limite pour des bétons siliceux et silico-calcaire.

Devant la complexité du problème multiphasique multiconstituant posé au voisinage du front d'ablation, le deuxième axe de ce travail associé à la problématique du changement d'échelle a été abordé sur un problème modèle. Des conditions aux limites dites effectives ont été construites et testées pour un problème d'écoulement laminaire de convection naturelle sur parois rugueuses dans le cadre d'une méthode de décomposition de domaine. Cette contribution offre de nombreuses perspectives et constitue une première étape d'une modélisation multi-échelles des échanges pour la problématique de l'interaction corium-béton.



Sujet du post-doctorat :

Caractérisation expérimentale sous synchrotron des cinétiques de précipitation des hydrures dans les gaines de crayons de combustible

Olivier ZANELATO

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

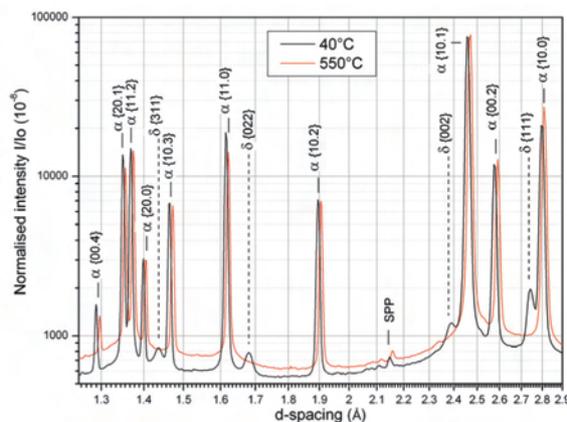
DPAM/SEMCA/LEC

Tuteur :

Fabienne RIBEIRO

Post-doctorat financé par la recherche exploratoire

Dans un réacteur nucléaire, les éléments de structure en Zircaloy-4 (alliage à base de zirconium) sont placés dans un environnement aqueux à une température relativement élevée. Le matériau tend donc à s'oxyder en surface et à absorber de l'hydrogène à cœur. Cependant l'hydrogène a une solubilité limitée dans le zirconium. Sous l'effet du temps, de gradients thermiques ou suite à des variations de température, il peut se former des précipités (hydrures) au sein de la structure. Ces hydrures peuvent fortement fragiliser le matériau ce qui peut être néfaste pour l'intégrité structurale. Il est donc important de comprendre les mécanismes qui régissent leur précipitation et leur dissolution. Bien que les hydrures de zirconium aient été étudiés depuis plusieurs décennies, la littérature, même récente, présente de nombreuses études contradictoires quant à la stabilité des phases, les cinétiques de précipitation et les mécanismes en jeux. L'objectif de ce projet est de tenter de résoudre quelques unes de ces incertitudes en faisant appel principalement au rayonnement synchrotron. La technique de diffraction par rayons-X de synchrotron donne accès à des informations au cœur des matériaux cristallins avec une résolution spatiale et temporelle très élevée. Les résultats présentés ici portent sur des expériences de cycles thermiques réalisés in situ sur des plaques hydrurées de Zircaloy-4. La fraction d'hydrure au sein du matériau à une température donnée a été évaluée à partir de l'intensité des pics de diffraction de ces précipités. Des lois de dissolution et précipitation en ont été déduites. L'hystérésis entre chauffage et refroidissement a été clairement mise en évidence. La position des pics de diffractions de la matrice et des hydrures a permis l'étude des distorsions de réseau cristallographique, qui peuvent être la conséquence de la dilatation thermique, de changements de stœchiométrie ou de la présence de contraintes. La déconvolution de ces mécanismes nécessitera l'utilisation de modèles multi-échelles. Une étude de la cinétique de précipitation a aussi été menée. Il semble que la précipitation de l'hydrogène dans le Zircaloy-4 est un mécanisme relativement rapide avec des temps caractéristiques de l'ordre de 80s à 400°C.



Diffractogrammes obtenus sur une plaque de Zircaloy-4 hydrurée à 475ppm pour deux températures :  
Les pics d'hydrure  $\delta$  présents à 40°C ont disparu à 550°C.

Sujet de la thèse :

Raffinement Local Adaptatif et Méthodes Multiniveaux pour la Simulation d'Ecoulements Multiphasiques.

**Sebastian MINJEAUD**

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DPAM/SEMIC/LIMSI

Tuteur :

Bruno PIAR

Ecole doctorale :

Marseille - Mathématiques et informatique ED184

Directeur de thèse :

Franck BOYER

Financement :

IRSN

Une dégradation avancée d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée lors d'un hypothétique accident majeur peut produire, selon les scénarios envisagés, un bain de deux liquides immiscibles stratifiés horizontalement et traversés par un flux vertical de bulles de gaz. L'étude qualitative et quantitative des échanges induits par la traversée des bulles à l'interface des deux fluides fait l'objet d'une approche par simulation numérique directe à l'aide d'un modèle triphasique à interfaces diffuses - les interfaces sont

représentées par des zones d'épaisseur faible mais non nulle - de type Cahn-Hilliard/Navier-Stokes. Plus particulièrement, mon travail de thèse porte sur l'étude des aspects numériques liés à la résolution du système d'équations associé.

Nous avons mis en œuvre des techniques de raffinement local. Ceci permet de focaliser dynamiquement la discrétisation en espace sur les zones sensibles et ainsi obtenir la finesse de maillage requise pour capturer les phénomènes de transfert au voisinage des interfaces tout en limitant le nombre total d'inconnues.

La discrétisation en temps est effectuée par un schéma semi-implicite pour les équations de Cahn-Hilliard et grâce à un découplage "prédiction-correction" du système de Navier-Stokes : la méthode de projection incrémentale. Les derniers développements théoriques ont mené à l'écriture d'un schéma pour le système couplé Cahn-Hilliard/Navier-Stokes permettant de garantir la décroissance de l'énergie tout en autorisant une résolution découplée des problèmes discrets (modèle de Cahn-Hilliard et de Navier-Stokes) à chaque pas de temps. Ceci permet d'obtenir un schéma numérique inconditionnellement stable. Par ailleurs, l'étude de convergence a permis de conclure à l'existence d'une solution au modèle mathématique (lorsque les trois fluides en présence ont la même densité).

L'ensemble des techniques développées au cours de la thèse ont été implémentées dans la librairie PELICANS. Nous disposons maintenant d'un code de calcul exécutable sur des systèmes à mémoire distribuée et offrant des fonctionnalités de raffinement local et de préconditionnement multigrille. Ceci a rendu possible la réalisation des premiers calculs en géométrie tridimensionnelle.



Figure 1 : Exemple de simulations tridimensionnelles diphasiques, montée de trois bulles de gaz dans une colonne de liquide

Sujet du post-doctorat :

Analyse de l'influence du mode d'hydruration artificielle sur les efforts internes dans les gaines de combustible

**Benoît KREBS**

Date de début :

Laboratoire :

Tuteur :

11-2009

DPAM/SEMCA/LEC

Jean DESQUINES

---

La stabilité dimensionnelle des grilles en Zircaloy 4 recristallisé (Zr4 RXA) est un paramètre important susceptible de limiter la durée d'exploitation des crayons de combustible dans les réacteurs nucléaires commerciaux. A ce titre l'hydruration est particulièrement étudiée en laboratoire. Deux modes d'hydruration artificielle sont généralement utilisés :

- par voie électrolytique réalisée à basse température, dans ce cas, on obtient une couronne d'hydrures très dense en peau externe de gaine (rim) dont la profondeur radiale n'excède pas 10 à 20 microns au maximum (figure a),
- par voie gazeuse à relativement haute température, qui conduit à une distribution homogène en hydrures dans l'épaisseur de la gaine (figure b).

Les résultats obtenus durant cette première année de Post-Doc l'ont été avec la seconde méthode de chargement sur des plaques de Zr4 RXA fournies par AREVA-NP.

Les données disponibles dans la littérature sur les déformations induites par les hydrures sont difficiles à comparer :

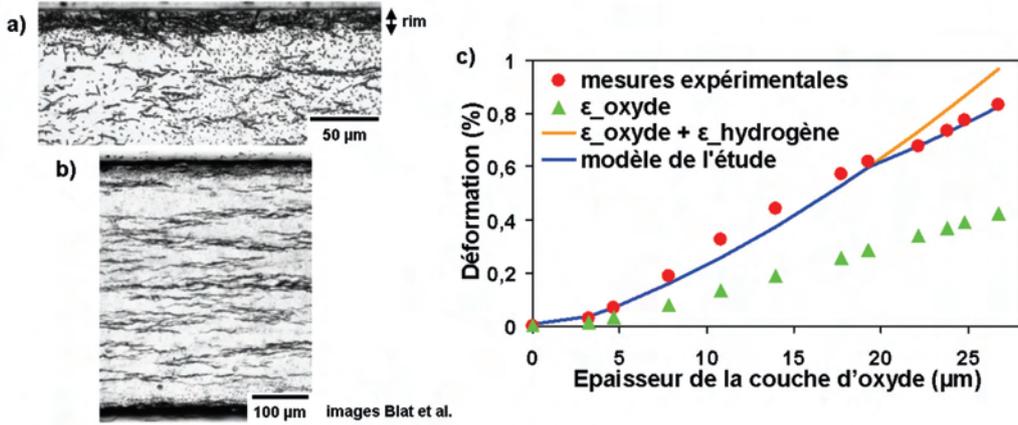
- Kesterson et al.: 1000ppm => 0.2%
- Blat et al.: 1000ppm => 0.1%

Dans un premier temps, nous avons développé une méthode de quantification des déformations précise et robuste, basée sur la mesure du déplacement d'empreintes de micro-dureté. Après avoir mesuré ces déformations pour une gamme étendue de chargements en hydrogène, nos résultats confirment ceux de l'étude de Kesterson.

Les déformations, la croissance de la couche d'oxyde et la prise d'hydrogène ont été mesurées lors d'oxydations sous air et sous vapeur d'eau. Grâce aux résultats obtenus lors des hydrurations en voie gazeuse et à l'analyse des mesures expérimentales au cours des deux oxydations, les effets de l'oxyde et de l'hydrogène sur les déformations totales ont été déconvolués. Jusqu'à la fissuration de la couche d'oxyde, les déformations totales sont la somme des contributions de l'oxyde et de la précipitation des hydrures ; au-delà, seule l'hydruration participe à la déformation (voir figure).

Les premiers calculs, réalisés avec le code MECOX (code développé à la DPAM permettant d'évaluer la distribution des contraintes dans l'oxyde et le métal en fonction de la progression de l'oxydation), montrent que le gonflement dû à l'hydruration modifie fortement les contraintes dans l'oxyde et à l'interface métal oxyde. De plus, la précipitation des hydrures provoque une fissuration à la fois plus dense et plus précoce de l'oxyde.

Une méthode de chargement par voie cathodique est en cours développement, sa maîtrise permettra de quantifier l'effet de la formation et de la dissolution de rim d'hydrures et de comparer ces résultats à ceux obtenus par voie gazeuse.



Figures : Métallographies des hydrures chargés a) par voie cathodique, b) par voie gazeuse ; c) Evolution, en fonction de l'épaisseur de la couche d'oxyde formée sous vapeur d'eau, des déformations mesurées expérimentalement, de la contribution de l'oxyde seul, de la somme des contributions de l'oxyde et de l'hydrogène, et des déformations calculées avec le modèle proposé dans l'étude.

JOURNÉES DES THÈSES IRSN  
SESSIONS POSTERS

21 sept (16h20), 22 sept (10h00 et 16h45), 23 sept (10h20)

**Sciences humaines et sociales**

**Romain SUCHET** Information du Grand public et Education scolaire : les stratégies de communication pour accroître la résilience de la société en situation radiologique post-accidentelle.

**Sciences de l'environnement**

**Guillaume BERTHE** Faisabilité d'un stockage souterrain de CO<sub>2</sub> : Etude de l'influence de discontinuités sur les vitesses de migration au travers de l'argilite de Tournemire

**Fabien PANZA** Développement de la spectrométrie gamma in situ pour la cartographie de sites

**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

**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

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

**Pierre ROUPSARD** Quantification du dépôt sec des aérosols et de leurs lessivages par la pluie sur différents substrats en milieu urbain

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

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

**Anaïs MAILLET** Etude 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 sûreté

**Abdelmonem BEN OUANAS** Développement d'une méthode de caractérisation in situ des propriétés rhéologiques des massifs rocheux.

**Sûreté**

**Vincent TOPIN** Hydrodynamique des milieux granulaires saturés

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

**Mehdi COLBERT** Comportement de gaz rares confinés dans une matrice céramique à haute température : modélisation par des approches semi-empiriques

**Romain BONHOMME** Etude de la traversée de bulles à travers une interface liquide-liquide  
**Shuang WEN** Identification expérimentale de modèles de zones cohésives à partir de techniques d'imageries thermomécanique

**Rafik AFFES** Fragmentation dynamique des matériaux frittés : application au combustible nucléaire

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

**Roberta VISENTINI** Ebullition en film transitoire: évaluation du transfert de chaleur dans le contexte d'un RIA dans un REP

**Rodrigo DEMARCO** Pyrolyse et production de suies dans les feux en atmosphère sous-ventilée

**Fanny DARDALHON** Schémas numériques pour la simulation des grandes échelles

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

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

**Mohamad AL SHAMA** Etude du risque de développement d'une réaction sulfatique interne et de ses conséquences dans les bétons de structures des ouvrages nucléaires

**Jérémy SABARD** Etude de l'explosion de mélanges diphasiques hydrogène et poussières métalliques

**Xuan Dung VU** Étude du comportement de dalles en béton soumises à un impact : Caractérisation du matériau, Modélisation et Validation

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

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

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

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

### Sciences de la santé

**Rima SAYAH** Evaluation des doses dues aux neutrons secondaires reçues par les patients traités par protonthérapie au cours des traitements intracrâniens

**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

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

## Sujet de la thèse :

Information du Grand public et Education scolaire : les stratégies de communication pour accroître la résilience de la société en situation radiologique post-accidentelle.

**Romain SUCHET**

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DCOM

Tuteur :

Marie-Pierre BIGOT

Ecole doctorale :

Directeur de thèse :

Jean-Yves DORMAGEN &amp; Laura MICHEL

Financement :

IRSN

En cas d'accident nucléaire – de probabilité certes infime – la crise sera double : après la crise technique, quand l'accident lui-même aura été géré, viendra la crise médiatique. Il est probable que moins l'accident est grave d'un point de vue technique, plus la communication joue un rôle important (voir l'incident de Tricastin).

Les « techniciens » ne sont pas forcément hostiles à communiquer sur le risque nucléaire, mais en général sur le terrain qui leur est propre : ingénieurs et pouvoirs publics définissent le risque comme « la combinaison de la probabilité et des conséquences (négatives) qui existent dans le monde réel » (Thompson 1986). De nombreux travaux, par exemple ceux de Slovic, ont montré que d'autres acteurs abordent le risque autrement, et que par conséquent la gestion du risque est aussi largement affaire de perception. En effet, même éloignée du « risque réel » décrit par les techniciens, une perception partagée par un grand nombre entraîne des conséquences bien réelles. C'est dans le cadre de ce renversement de paradigme – risque perçu contre risque réel – que les sciences politiques peuvent apporter leur contribution.

Ce point de vue a été adopté par le Codirpa, où la communication destinée aux populations est à elle seule le sujet d'un groupe de travail. L'analyse des résultats du Codirpa, et d'autres groupes pluralistes, ainsi que leur mise en œuvre font partie de notre recherche. Une autre composante de notre travail consiste à étudier l'organisation de crise française et britannique, ainsi que le rôle tenu par la communication sur le risque nucléaire pendant la crise. Comme le rappelle Lagadec, la communication est une composante majeure du processus de résolution de la crise. Enfin, un travail de terrain sera effectué en participant à des exercices de crise français et britanniques pour dégager les causes des succès et des échecs de la communication sur le risque nucléaire dans ces deux pays.

Sujet de la thèse :

Faisabilité d'un stockage souterrain de CO<sub>2</sub> : Etude de l'influence de discontinuités sur les vitesses de migration au travers de l'argilite de Tournemire

Guillaume BERTHE

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DEI/SARG/LR2S

Tuteur :

Charles WITTEBROODT

Ecole doctorale : Paris XI - Dynamique et Physico-chimie de la Terre et des Planètes - ED 143

Directeur de thèse :

Sébastien SAVOYE

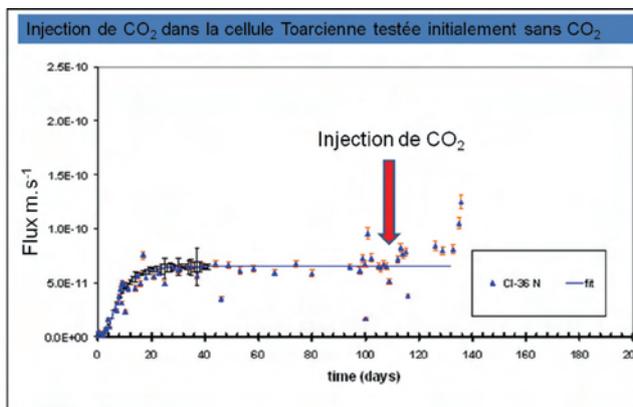
Financement :

Cofinancement ANR

Cette thèse s'inscrit directement dans le cadre d'un projet ANR sur le stockage du CO<sub>2</sub>, intitulé CO-LINER, qui vise à estimer l'intégrité des roches «bouchon», du type argilites sur-consolidées, comme l'argilite de Tournemire. Les précédentes études visant à évaluer la sûreté de ces deux grands types de stockage ont montré que les mécanismes de transport (essentiellement diffusif et/ou par capillarité pour le seul CO<sub>2</sub>) au travers de la matrice argileuse induisaient, pour la plupart des radioéléments (notamment cationiques) et pour le CO<sub>2</sub>, des relargages à l'exutoire faibles qui ne remettaient pas en cause la faisabilité de tels stockages.

En revanche, on ne peut écarter l'hypothèse de fuites ou de courts-circuits au niveau de discontinuités se présentant, par exemple, sous forme de fractures d'origine tectonique. Beaucaire et al. (2008) ont ainsi mis en évidence dans le laboratoire souterrain de Tournemire des fractures ouvertes où les eaux prélevées montraient des temps de résidence inférieurs à une dizaine de milliers d'années. Dans le cas d'un stockage de CO<sub>2</sub>, même des fractures scellées par des minéraux carbonatés, imperméables en condition d'équilibre (Boisson et al., 2001), pourraient partiellement se dissoudre pour créer des courts-circuits. Enfin, la zone de contact entre l'argilite et le béton servant à boucher les puits d'injection de CO<sub>2</sub> pourrait aussi constituer un chemin préférentiel pour des fuites émanant du stockage.

Concernant les résultats et les expériences en cours, nous confirmons les résultats obtenus précédemment lors d'un master et optimisons les méthodes expérimentales. Nous avons confirmé les différences des paramètres de diffusion obtenus sur deux niveaux géologiques de Tournemire (Toarcien supérieur et Domérien) en présence de CO<sub>2</sub>. Pour ce faire, une nouvelle expérience de through-diffusion a été réalisée, à l'aide de traceurs radioactifs (tritium et chlore-36) sur ces deux niveaux géologiques. De plus, la cellule initialement testée sans CO<sub>2</sub> est désormais testée avec un fluide enrichi en CO<sub>2</sub>.



*Le succès de cette dernière expérience nous permettra de lever les doutes concernant la présence d'hétérogénéité entre la cellule témoin (sans CO<sub>2</sub>) et la cellule testée avec du CO<sub>2</sub> pour les prochaines études. Elle confirme également la réactivité rapide des paramètres de diffusions en présence de CO<sub>2</sub>.*

Sujet de la thèse :

Développement de la spectrométrie gamma in situ pour la cartographie de sites

**Fabien PANZA**

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DEI/STEME/LMRE

Tuteur :

Rodolfo GURRIARAN

Ecole doctorale :

Strasbourg - Physique et chimie physique ED182

Directeur de thèse :

Abdelmjid NOURREDDINE

Financement :

IRSN

---

La spectrométrie gamma à haute résolution offre actuellement un outil d'analyse performant pour effectuer des mesurages environnementaux. Dans le cadre d'études radiologiques de sites (radioactivité naturelle ou artificielle), la cartographie des radionucléides présents est un atout important. Cette thèse propose de développer un outil portatif capable de réaliser cette cartographie à l'aide de la spectrométrie gamma in situ en associant à la chaîne de détection un système de positionnement. L'avantage de cette association est de réaliser une identification fine grâce au détecteur semi conducteur Ge(HP), de quantifier l'activité de la source à l'aide de la spectrométrie, et de localiser les différents termes sources présents dans le sol à l'aide d'un GPS.

La première étape du développement est de simuler des données réalistes (photon directe et diffusés) d'un détecteur se déplaçant sur un site. L'originalité de ce simulateur est qu'il se compose de deux parties.

La première, se base sur des calculs Monte Carlo ; simulation d'un détecteur au dessus d'un sol contaminé en radionucléides. Le flux engendré par la radioactivité du sol est convolué à la fonction de réponse du détecteur pour donner un spectre identique à une mesure in situ.

La deuxième étape est assurée par un programme qui, à partir d'une série de mesures statiques recrée le mouvement du détecteur simulé. Le simulateur permet donc de modéliser en temps réel la réponse d'un détecteur (Ge, LaBr3 et NaI) en mouvement sur un site dans des situations complexes (les caractéristiques du site et des termes sources sont décrites dans un script de simulation).

Les premiers résultats d'une simulation d'un site non contaminé permettent de retrouver avec un bon accord un spectre enregistré expérimentalement par un spectromètre Ge(HP) dans les mêmes conditions.

Les prochaines étapes de la thèse seront à moyen terme, de développer à partir des données simulées des algorithmes de cartographie afin de localiser identifier et quantifier les termes sources d'un site. Puis, l'une des dernières étapes sera de réaliser un prototype afin de tester les algorithmes développés dans des situations réelles.

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

**Céline ROUX**

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DEI/SARG/LR2S

Tuteur :

Caroline SIMONUCCI

Ecole doctorale :

Aix-Marseille - Sciences de l'environnement - ED251

Directeur de thèse :

Joel LANCELOT

Financement :

Cofinancement CNRS

---

Dans la zone d'exclusion de Tchernobyl, suite à l'accident du réacteur (26/04/1986), des particules de combustible et de la matière organique végétale contaminée ont été enfouies dans des tranchées. Depuis 1999, l'IRSN, en collaboration avec les instituts UIAR et IGS, a entrepris des recherches sur la tranchée T22, dans le but de caractériser la migration des radionucléides dans le sous-sol.

Dans le cadre de l'action 2008-1B du GNR-TRASSE (IRSN/CNRS), cette thèse a pour but de contribuer à la compréhension des modes d'infiltration des eaux souterraines et du transfert des radionucléides. Les analyses en  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^2\text{H}$  permettent de déterminer l'origine des eaux ainsi qu'une éventuelle stratification de la nappe. Le rapport  $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$  apporte des informations, selon l'origine du  $^{36}\text{Cl}$ , sur cette stratification ou sur la dispersion ou non des contaminants. L'étude des rapports  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  et  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$  renseigne aussi sur cette dispersion ainsi que sur les processus géochimiques pouvant affecter le transport.

Deux campagnes de prélèvement des eaux ont été menées en 2008 et en 2009 sur le site expérimental de l'IRSN à Tchernobyl. Les activités volumiques en  $^{90}\text{Sr}$  de certaines eaux excèdent 100 Bq/L, aussi les analyses ne peuvent être réalisées en laboratoire conventionnel. Différents protocoles de séparation du  $^{90}\text{Sr}$  ont été testés au LAM (IRSN) pour envisager l'analyse en laboratoire conventionnel.

Après séparation, tous les échantillons pour l'analyse du  $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$  ont pu être envoyés à l'ANU (Canberra). Les analyses  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  et  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$  seront réalisées sur TIMS au GIS (Nîmes) pour les échantillons non-actifs et au laboratoire LAMM (CEA-Marcoule) pour les échantillons actifs.

A ce stade, 25 échantillons non actifs ont été analysés en  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^2\text{H}$  au laboratoire IDES (Orsay). Cette analyse a mis en évidence l'origine météorique des eaux avec recharge hivernale. En coupe transversale le long de lignes d'écoulement, une stratification de la nappe est observée (identifiée également par des analyses en CFC et  $^3\text{H}$ ). La géochimie des éléments majeurs du site révèle un panache plus concentré en aval de la tranchée et dans la partie supérieure de la nappe, pouvant correspondre au panache de contamination. Des eaux plus diluées s'observent aussi en amont de ce panache.

Sujet de la thèse :

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

Anne VREL

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DEI/SECRE/LRC-DEI

Tuteur :

Dominique BOUST

Ecole doctorale :

Caen - SIMEM

Directeur de thèse :

Patrick LESUEUR

Financement :

Cofinancement Région Basse Normandie

L'estuaire de la Seine est l'exutoire unique d'un bassin versant de 78 650 km<sup>2</sup> très anthropisé. Dans cet estuaire, aux particules sédimentaires apportées par le fleuve, s'ajoutent celles provenant de l'aval par pompage tidal, processus lié à l'asymétrie de l'onde de marée en Manche.

L'évolution des apports en contaminants à l'estuaire de la Seine n'est connue que pour un nombre très limité de substances au cours des trois dernières décennies. Cependant, certaines zones marginales du fleuve (plaines d'inondation, bassins portuaires, vasières naturelles) ont permis de piéger les particules fines auxquelles sont associés les contaminants. Des carottages dans ces zones d'accumulation doivent permettre de reconstituer l'historique des apports en contaminants, pourvu qu'on puisse les dater : c'est l'objectif de cette thèse.

Dans l'estuaire fluvial, plusieurs carottes ont été prélevées dans un ancien bassin portuaire à 11 kilomètres en aval de Rouen. Afin de pouvoir préciser l'origine des contaminants présents dans cette carotte, d'autres sites ont fait l'objet de carottages : un site dans la partie fluviale (i.e. zone hors de l'influence de la marée, à Bouafles près de Vernon) et deux sites de l'embouchure de l'estuaire, notamment sur la Vasière Nord à proximité du Pont de Normandie.

L'ensemble de ces carottes a été soumis à des analyses sédimentologiques et géochimiques. Les analyses sédimentaires révèlent différentes dynamiques hydrologiques et hydrodynamiques propres aux différents sites et variables au cours du temps. Les analyses des radionucléides permettent de fixer des repères temporels sûrs et montrent des évolutions temporelles très contrastées : une anomalie encore inexpliquée en <sup>238</sup>Pu a été repérée dans les années 1970 sur les sites de Rouen et de Bouafles, ainsi qu'une forte empreinte des rejets de phosphogypses. Les concentrations en métaux reflètent la combinaison des apports amont et/ou des apports intra-estuariens.

Cette première année a essentiellement été consacrée à l'acquisition des données (campagnes de terrain et analyses) et à la bibliographie ; elles sont en cours de mise en forme. L'objectif du travail doit pouvoir être atteint et donner accès à des paramètres caractéristiques de l'export du bassin versant de la Seine et des apports depuis l'aval.

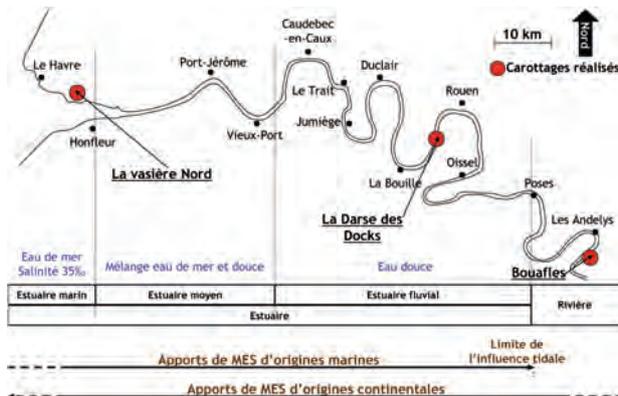


Figure 1 : Zonation de l'estuaire de la Seine et localisation des trois sites d'étude.

Sujet de la thèse :

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

Névénick CALEC

Date de début :

12-2009

Laboratoire :

DEI/SECRE/LME

Tuteur :

Patrick BOYER

Ecole doctorale : Aix-Marseille II - Sciences pour l'ingénieur : Mécanique, Physique, Micro- et Nanoélectronique - ED 353

Directeur de thèse :

Fabien ANSELMET

Financement :

Cofinancement Rég PACA

Dans le cadre des scénarios d'accidents nucléaires, l'une des principales voies de contamination des hydrosystèmes continentaux est le dépôt atmosphérique des aérosols radioactifs. Cependant, bien que les vitesses de dépôt aient été largement étudiées pour des interfaces telles que les prairies et les forêts, il existe peu d'étude concernant les hydrosystèmes. Ce constat a motivé le lancement de ce sujet de thèse en collaboration entre deux laboratoires de l'IRSN (LME et LRC) et les équipes « Turbulence » et « Interactions Océan / Atmosphère » de l'IRPHE (Unité mixte CNRS/ Université). Les travaux impliquent des expérimentations de traçage d'aérosols en soufflerie air-eau et des simulations numériques réalisées à partir du code ISIS de la DPAM avec le support technique et scientifique du LIMSI.

Les premiers résultats expérimentaux réalisés en soufflerie sur une nappe d'eau mise en mouvement par le seul frottement de l'écoulement d'air confirment l'influence de deux facteurs importants sur la vitesse de dépôt: le glissement caractérisé par le gradient de vitesse entre la surface d'eau et l'air et les conditions de vagues à la surface (Slinn and Slinn, 1974). Dans la mesure où le dispositif expérimental permet de décrire l'hétérogénéité surfacique des conditions de vagues (Figure 1a), les résultats révèlent le rôle que ces hétérogénéités peuvent avoir sur le flux global de dépôt. Ce point illustre la spécificité des dépôts sur les hydrosystèmes continentaux, qui contrairement aux grandes étendues marines, sont soumis à des conditions fortement transitoires et hétérogènes (Figure 1b). La suite des travaux sera consacrée à la modélisation numérique de ces premières expérimentations et à de nouvelles campagnes en soufflerie menées sur un nouveau dispositif permettant de simuler un écoulement d'eau et d'étudier l'effet sur le flux de dépôt de son orientation par rapport à l'écoulement d'air. Ces travaux ont été intégrés au programme international SOLAS sur la thématique des flux air-mer (gaz et aérosols) soutenu par le réseau européen COST et ont fait l'objet d'une présentation orale au cours de la Conférence Internationale sur les Aérosols (IAC 2010, Helsinki).



Figure 1a : Visualisation de la surface de la nappe d'eau expérimentale



Figure 1b : Exemple de la surface d'un cours d'eau

Sujet de la thèse :

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

Date de début :

11-2009

Laboratoire :

DEI/SECRE/LRE

Tuteur :

jean-marc BONZOM

Ecole doctorale :

Montpellier I - Sciences Chimiques et Biologiques pour la Santé

Directeur de thèse :

Simon GALAS

Financement :

IRSN

---

L'adaptation locale, cause importante des différenciations de populations dans les écosystèmes, est l'un des principes de base de la biologie évolutive moderne. La sélection naturelle, mécanisme reconnu pour être la première cause des changements phénotypiques, dirige ces processus adaptatifs. La pollution peut jouer un rôle important sur cette sélection naturelle : le stress induit par la toxicité d'un polluant amplifie la pression de sélection subie par les organismes du milieu. Cette amplification peut rapidement engendrer des variations génétiques associées à une augmentation de la tolérance au polluant.

Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse est d'étudier les réponses évolutives d'une population de *Caenorhabditis elegans* (nématode) soumis pendant plusieurs générations à la présence de différents stress. Une première expérience a été réalisée dans le but d'évaluer les effets de l'uranium sur les traits d'histoire de vie et comportementaux de *C. elegans* pendant 3 générations (P0, F1, F2). A la génération P0, la CL50 à 48h est de 1,76 mM U (IC95% : 1,67-1,85). Cependant les individus sont incapables de se reproduire dès 1,4 mM U. Les variations des valeurs de traits par rapport à celles du témoin s'amplifient en fonction des concentrations croissantes en uranium. A la génération P0, la taille de ponte moyenne est de 248,4 œufs pour les individus témoins mais de 190,1 à 0,1 mM U; 198,9 à 0,5 mM U; 170,2 à 1 mM U. Une influence de la génération sur les valeurs de traits a aussi été mise en évidence. A la génération F2, il y a une tendance à un retour vers les valeurs de traits des témoins pour la taille adulte et le comportement (body bend). À 1,2 mM U les individus ont respectivement, pour les générations P0, F1 et F2, une taille adulte moyenne de 0,810 mm ; 0,477 mm ; 0,644 mm. Ceci est dû à une augmentation de la tolérance des individus à la contamination en uranium.

Une prochaine étude aura pour but d'identifier les modifications phénotypiques et génétiques de populations exposées pendant 30 générations à ce polluant, et à partir de ces données d'élaborer un modèle de dynamique adaptative.

Sujet de la thèse :

Quantification du dépôt sec des aérosols et de leurs lessivage par la pluie sur différents substrats en milieu urbain

**Pierre ROUPSARD**

Date de début :

11-2009

Laboratoire :

DEI/SECRE/LRC-DEI

Tuteur :

Denis MARO

Ecole doctorale : Rouen - Sciences physiques, mathématiques et information pour l'ingénieur SPMII

Directeur de thèse :

Alexis COPPALLE

Financement :

Cofinancement ANR

Dans le cas d'un rejet atmosphérique impliquant des radionucléides émis sous forme d'aérosols dans le milieu urbain, milieu regroupant plus de 70 % de la population dans la plupart des pays développés, il est important pour l'IRSN de bien évaluer leur dispersion mais aussi leur transfert vers les surfaces urbaines.

En condition sèche, ce transfert est caractérisé par la vitesse de dépôt sec, rapport du flux surfacique de dépôt d'aérosols et de la concentration de ces particules à proximité de la surface. Il dépend notamment des conditions de turbulence atmosphérique, de la granulométrie de l'aérosol et du type de surface exposée. Ce dépôt sec peut ensuite être remobilisé par la pluie (par lessivage). Actuellement, il existe très peu de données sur ces vitesses de dépôt sec et ce lessivage en milieu urbain. Ce travail de thèse a pour objectif de les quantifier expérimentalement pour différentes surfaces, les relier aux conditions météorologiques rencontrées et hiérarchiser l'importance des phénomènes physiques influençant le dépôt sec en milieu urbain.

Trois types d'expérimentations complémentaires sont menés : en soufflerie et in situ, de courtes et de longues durées, de nouveaux paramètres physiques s'ajoutant à chaque étape. L'influence sur le dépôt de chacun de ces paramètres est déterminée par comparaison des résultats obtenus pour chaque type d'expérience. Le lessivage est étudié lors des expérimentations in situ de longue durée.

Un aérosol de fluorescéine de  $0,4 \mu\text{m}$  de diamètre est généré lors des expérimentations en soufflerie et in situ de courte durée, le béryllium 7 (radionucléide naturel) est utilisé comme traceur de l'aérosol atmosphérique auquel sont exposées les surfaces étudiées lors des expérimentations in situ de longue durée. L'ardoise, la tuile, le zinc, le verre, l'enduit de façade, l'herbe synthétique et le bitume seront utilisés en éprouvettes carrées de 20 cm de côté pour représenter

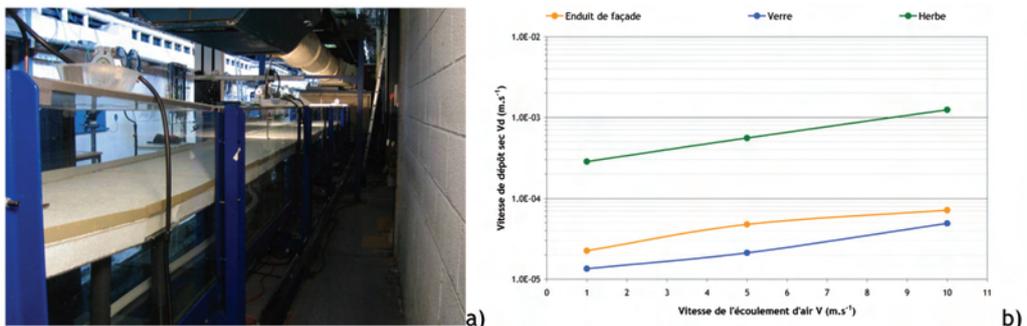


Figure 1. a) expérimentations avec enduit dans la soufflerie de l'IRPHE (Université de Marseille) ;

b) vitesses de dépôt en fonction de la vitesse de l'écoulement

Une première étude en soufflerie s'est déroulée avec succès, avec des éprouvettes de verre, d'enduit de façade et d'herbe synthétique, pour des vitesses d'écoulement de l'air de 1, 5 et 10 m.s<sup>-1</sup>. Les vitesses de dépôt mesurées sont présentées figure 1.

## Sujet de la thèse :

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

**Antoine TAILLIEZ**

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DEI/SECRE/LRE

Tuteur :

Pascale HENNER

Ecole doctorale :

Aix-Marseille - Sciences de l'environnement - ED251

Directeur de thèse :

Catherine KELLER

Financement :

IRSN

L'uranium est un métal naturel, ubiquiste et radioactif de la famille des actinides. Il est présent dans les sols, en quantité relativement faible (3 mg.kg<sup>-1</sup>), où il peut se fixer aux oxydes de fer/aluminium, aux carbonates, aux argiles et à la matière organique.

Chez les plantes, différentes études ont démontré sa toxicité à forte dose comme peuvent l'être d'autres métaux lourds. Il provoque différents effets délétères, sur les paramètres de développement en particulier. Son activité radiologique est faible, il est donc considéré comme chimiotoxique plutôt que radiotoxique.

Selon les espèces végétales, les milieux, ou encore les conditions expérimentales, les valeurs de toxicité varient énormément (jusqu'à 3 ordres de grandeur), ce qui rend difficile la détermination de seuils de phytotoxicité. La spéciation de l'uranium influence sa mobilité dans les milieux donc potentiellement son transfert aux végétaux, ce qui peut en partie expliquer ce constat. Les racines exsudant des ions et des composés organiques capables de dégrader les phases porteuses de certains nutriments (Fe, P) sont susceptibles de changer cette spéciation et donc la phytodisponibilité de l'U.

Nous nous proposons ainsi d'aborder ce sujet de thèse sur la phytodisponibilité de l'uranium au niveau racinaire en trois étapes : (1) la caractérisation de la toxicité du radionucléide sur l'élongation racinaire en milieu contrôlé, (2) la recherche de modifications des activités d'exsudation racinaire en fonction de la dose d'uranium, et (3) l'évaluation de l'impact de ces (potentielles) modifications sur la phytodisponibilité de l'uranium présent dans un sol naturellement contaminé.

Pour ce faire, nous avons choisi de travailler avec le Blé dur et le Lupin blanc, deux espèces caractéristiques en termes de production d'exsudats racinaires (phytosidérophores/acides organiques respectivement). Les paramètres de culture en hydroponie de ces deux espèces ont été déterminés et diverses méthodes expérimentales testées. Les premiers résultats ne montrent aucun effet néfaste de l'uranium sur l'élongation racinaire pour des concentrations allant de 0,5 à 32 µM et seront poursuivis dans un milieu légèrement différent, favorisant la biodisponibilité du métal. Ceci nous permettra de caractériser, pour chaque espèce, la toxicité de l'uranium dans un milieu facilitant le contact entre la solution et la racine.

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

Marion JEAMBRUN

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DEI/SESURE/LERCM

Tuteur :

Laurent POURCELOT

Ecole doctorale :

Strasbourg - Sciences de la Terre, de l'Univers et de l'environnement

Directeur de thèse :

François GAUTHIER-LAFAYE

Financement :

Cofinancement AREVA NC

Les radionucléides naturels, notamment les isotopes de l'uranium, le thorium et leurs descendants représentent la principale source d'exposition aux radiations pour l'homme. Du fait de leur présence dans les minéraux de la croûte continentale et dans les sols, ces radionucléides, sont transférés des sols aux plantes et par le biais de la nourriture et de l'eau sont ingérés par l'homme. Cependant, on recense un faible nombre de mesures sur les denrées alimentaires en France et peu de données sont disponibles dans la littérature internationale. Les conséquences des rejets d'uranium dans l'environnement et l'exposition de l'homme par l'ingestion de radionucléides naturels sont ainsi difficiles à évaluer. La connaissance de l'activité de ces radionucléides dans les productions alimentaires et dans les sols cultivés correspondants permet de définir une valeur de référence pour une zone du territoire donnée. La contribution des activités humaines, telles que l'agriculture, les industries du nucléaire et des engrais pourra ainsi être estimée. En effet, les rejets dans l'environnement de ces industries peuvent modifier les activités dans les sols et dans les cultures destinées à l'alimentation.

L'un des objectifs principaux de la thèse est de combler ces lacunes en mesurant les activités des isotopes de l'uranium, du thorium et de leurs produits de décroissance dans la nourriture locale dans le but d'établir un niveau de référence au sein du territoire français. Différentes matrices sont échantillonnées (légumes, céréales, produits laitiers et viandes) afin de couvrir les denrées les plus consommées en France. Pour chaque échantillon, les sols correspondants, les eaux d'irrigation et la nourriture pour les animaux sont également prélevés afin d'estimer la contribution de chacune de ces sources à l'activité des radionucléides mesurée dans ces matrices. Un autre aspect de la thèse consiste à identifier les zones géographiques et les activités humaines qui engendrent des activités relativement élevées dans les aliments. Pour cela différentes régions du territoire sont étudiées en fonction des activités en uranium dans les sols. La figure 1 montre les sites qui ont été choisis pour la première campagne de prélèvements. L'étude de l'environnement du site nucléaire du Tricastin, situé dans la vallée du Rhône permet d'évaluer l'influence de ce site sur l'environnement.

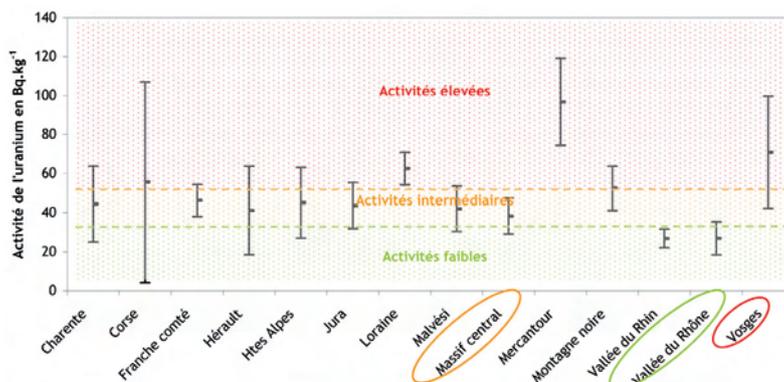


Figure 1 : Activité de l'uranium dans les sols cultivés du territoire français en Bq.kg<sup>-1</sup>sec. Données issues des mesures effectuées par l'IRSN dans le cadre de la surveillance environnementale.

## Sujet de la thèse :

Etude 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

Anaïs MAILLET

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DEI/SARG/LR2S

Tuteur :

Elisabeth TINSEAU

Ecole doctorale :

Poitiers - Ingénierie, Chimie, Biologie et Géologie

Directeur de thèse :

Abderrazak EL ALBANI

Financement :

IRSN

La conception d'un stockage de déchets radioactifs HAVL en formation géologique profonde repose sur un système multi-barrière (colis, barrière ouvragée, barrière géologique) afin de limiter le transfert des radionucléides. L'étude du comportement géochimique des argiles au contact du conteneur en acier est un thème de recherche majeur pour les études de la sûreté du stockage à long terme.

Depuis 1999, l'IRSN mène une étude in situ dans la Station expérimentale de Tournemire dans le cadre d'une collaboration avec EDF. Des échantillons de trois sortes d'aciers (carbone, inoxydable et réfractaire) ont été introduits dans le massif argileux (Fig. 1) au moyen de carottages verticaux dans la zone endommagée en contexte humide et de carottages horizontaux loin des perturbations mécaniques en contexte sec.

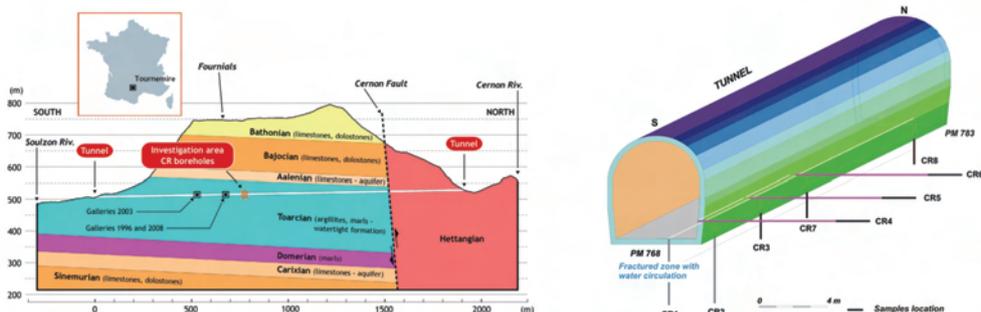


Figure 1 : localisation des forages CR6 et CR8 dans le tunnel de Tournemire

En 2001, un premier prélèvement (forages CR3 et CR4) a été effectué pour l'étude de la corrosion des aciers de contact. En 2005, un second prélèvement (forages CR5 et CR7) a permis l'étude de la corrosion des aciers et en parallèle des perturbations subies par l'argilite au contact.

En 2009, un nouveau prélèvement (forages CR6 et CR8) a été réalisé dans le cadre de ce travail doctoral dans le but de :

- caractériser les transformations de l'argilite au contact (minéralogie, pétrologie, pétrophysique),
- caractériser la corrosion des aciers (EDF),
- extrapoler l'ensemble des résultats acquis à 2, 6 et 10 ans de contact par modélisation géochimique.

Pour le moment, seuls les échantillons du forage CR6 ont été traités sous atmosphère inerte en boîte à gants et les analyses pétro-physiques (mesures des teneurs en eau, BET et pycnométrie He), minéralogiques (DRX, MEB) et structurales (tomographie RX basse résolution) sont en cours. Les premières observations des échantillons d'acier carbone, ont montré des auréoles et des filaments orangés autour de disque d'acier. Une première modélisation géochimique a été réalisée à l'aide du code KINDIS(P) développé par l'Université de Strasbourg dans le but d'estimer les phases minérales susceptibles de précipiter ou dissoudre à l'interface entre la roche argileuse et les 3 types d'acier proposés par l'Andra après un contact de 6 ans. Les calculs réalisés en condition cinétique suggèrent la précipitation d'une phase argileuse ferreuse (e.g. berthierine ou chlorite) qu'il reste à préciser en particulier pour un temps de contact plus long.

Sujet de la thèse :

Développement d'une méthode de caractérisation in situ des propriétés rhéologiques des massifs rocheux.

**Abdelmonem BEN OUANAS**

Date de début :

10-2007

Laboratoire :

DEI/SARG/LR2S

Tuteur :

Jean-dominique BARNICHON

Ecole doctorale : Nancy I - Ressources, Procédés, Produits et Environnement RP2E - ED 410

Directeur de thèse :

Jack-Pierre PIGUET

Financement :

Cofinancement INERIS

---

Etude de la zone endommagée autour d'ouvrages souterrains consiste à mieux prédire son extension et son intensité. Pour cela, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance :

- des lois et des paramètres qui régissent le comportement mécanique du massif ;
- des conditions aux limites qui s'exercent autour de l'ouvrage, en particulier l'état de contraintes.

Un des principes utilisés en géomécanique pour accéder aux lois de comportement d'un massif ou aux contraintes qui s'exercent sur celui-ci consiste à mesurer sa réponse en déformation sous l'effet d'une sollicitation connue (creusement d'un ouvrage, variations de température, chargement hydraulique, etc.). L'inversion de ces déformations, moyennant certaines hypothèses, permet de déduire des éléments sur le comportement ou sur les conditions aux limites de l'objet étudié. La mesure de déformation et l'amélioration constante des méthodes et des techniques permettant d'accéder à cette mesure est donc un aspect fondamental de la géomécanique.

Entre novembre 2005 et janvier 2006, une importante campagne de mesure de contraintes par surcarottage a été menée dans la station expérimentale de Tournemire à l'aide des cellules CSIRO. Malgré le succès apparent des essais et l'excellente tenue mécanique des carottes récupérées, les mesures de déformation enregistrées au cours de ces essais ont révélé des phénomènes inhabituels qui ont rendu impossible, en pratique, la détermination des contraintes in situ. Le souhait de comprendre l'origine de ces phénomènes, afin de pouvoir mieux les maîtriser et éventuellement les corriger dans les études futures, a constitué le point de départ de la présente thèse.

L'objectif de cette thèse était en premier lieu d'analyser et de comprendre l'origine des phénomènes qui ont affecté les mesures des cellules CSIRO obtenues dans la station expérimentale de Tournemire en 2005-2006. Il s'agissait notamment de déterminer si ces anomalies étaient liées au comportement de l'argilite ou si elles avaient une origine purement instrumentale. En fonction de la nature identifiée de ces phénomènes, cette thèse avait pour objectif de contribuer soit à améliorer la connaissance du comportement de l'argilite de Tournemire, soit à améliorer le protocole de mesure des déformations par cellules CSIRO. Dans ce deuxième cas, une généralisation éventuelle des résultats à d'autres types de cellules de mesure de déformation devait être étudiée.

Sujet du post-doctorat :  
Hydrodynamique des milieux granulaires saturés

Vincent TOPIN

Date de début :

Laboratoire :

Tuteur :

09-2009

DPAM/SEMCA/LEC

Frédéric PERALES

Le stage post-doctoral s'inscrit dans le cadre des projets de recherche du Laboratoire commun de Micromécanique et Intégrité des Structures (MIST - Laboratoire commun IRSN/CNRS UMR5508 / UM2) pour la compréhension et la simulation numérique des transitoires accidentels dans les réacteurs à eau sous pression. L'objectif est la compréhension du comportement d'un ensemble de particules en interaction dans un fluide, particulièrement lors des scénarii accidentels hypothétiques de type RIA et LOCA. Dans ce cas, le combustible fragmenté lors de sa vie en réacteur peut être considéré comme un milieu granulaire immergé dans le fluide caloporteur.

Le modèle numérique développé permet de prendre en compte les interactions complexes entre le fluide et les particules ainsi que les interactions complexes entre les particules. En se basant sur un couplage de type Multiplicateur de Lagrange/ Domaines Fictifs (DLM/FD), les problèmes fluide et granulaire sont résolus respectivement par une méthode par Éléments Finis et une approche discrète de type Dynamique des Contacts (CD). L'intégration de cette approche discrète a fait l'objet d'une écriture spécifique du problème couplé. L'outil de simulation associé a été validé avec succès sur des résultats obtenus précédemment avec un modèle granulaire de type Dynamique Moléculaire (MD).

Le modèle numérique et l'outil de simulation associé ont été appliqués au problème complexe des avalanches sous-marines, et plus particulièrement à l'étude des instabilités gravitaires en milieu immergé. Des études paramétriques (compacité, granulométrie de la phase solide et viscosité de la phase fluide) ont permis notamment de retrouver des résultats expérimentaux obtenus à l'IUSTI à Marseille et de mettre en évidence l'influence de la compacité initiale sur le temps de mise en mouvement d'un massif granulaire immergé. Ce travail a permis de mettre en évidence l'adéquation du modèle numérique à reproduire des phénomènes complexes à partir d'une description fine de la microstructure à l'échelle du grain, ouvrant ainsi la voie à une analyse rhéologique des mélanges fluide-grain.



Sujet de la thèse :

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

**Jonathan GERARDIN**

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DPAM/SEMCA/LEMAR

Tuteur :

Nathalie SEILER

Ecole doctorale :

Nancy I - Energie, Mécanique, Matériaux - ED409

Directeur de thèse :

Pascal BOULET

Financement :

Cofinancement EDF

---

L'APRP (Accident de Perte de Réfrigérant Primaire) est un accident de référence d'un REP. Lors de ce type d'accident, le cœur du réacteur se retrouve asséché et les assemblages montent en température (jusqu'à 1200°C) et se déforment. Le refroidissement est assuré par l'injection de sûreté. Le niveau d'eau remonte alors progressivement au sein du cœur et des assemblages chauds. Cette eau, en s'évaporant, va créer un milieu composé de vapeur d'eau et de gouttelettes (pression 1 à 2 bars, température de vapeur comprise entre 100°C et 800°C, température des gouttelettes inférieure ou égale à 100°C, fraction volumique en gouttelettes entre  $10^{-2}$  et  $10^{-4}$  m<sup>3</sup> d'eau par m<sup>3</sup>). L'IRSN réalise des simulations numériques, à l'échelle de la CFD, du refroidissement des assemblages par cet écoulement de vapeur. Dans cette configuration, le rayonnement thermique au sein du réacteur peut atteindre le même ordre de grandeur que le flux convectif. Il est donc nécessaire d'inclure un module de rayonnement thermique dans le code de CFD diphasique Neptune\_CFD.

Les travaux de thèse ont tout d'abord porté sur le rayonnement thermique dans un milieu semi-transparent représentatif du problème : un milieu non gris, absorbant, diffusant et émissif dans une géométrie complexe, pouvant se déformer au cours du temps. La première phase de l'étude a concerné un cas 2D, elle sera ensuite étendue à un cas 3D. Les propriétés radiatives du milieu ont été calculées à partir de la théorie de Mie (pour les gouttes d'eau) et du modèle C-k (pour la vapeur d'eau). Afin de déterminer les flux radiatifs, l'approximation P1 (associée à une résolution par éléments finis) a d'abord été testée du fait de sa rapidité de calcul en vue d'une implémentation dans le code CFD. Vu la géométrie complexe, le maillage utilisé est non structuré composé de mailles triangulaires. Cependant, après comparaison avec une solution de référence obtenue par méthode de Monte-Carlo, il est apparu que la précision des résultats était insuffisante, en particulier aux longueurs d'onde où le milieu est optiquement fin. Une version améliorée de la méthode P1 a donc été considérée : la méthode IDA (Improved Diffusion Approximation) qui consiste à décomposer la luminance en la somme d'une contribution issue des parois et d'un terme représentatif du rayonnement du milieu, lui-même approché par la méthode P1. Cette amélioration se révèle être excellente puisque les résultats obtenus sont similaires à ceux de la méthode de Monte-Carlo, quelle que soit l'épaisseur optique du milieu. Par la suite, cette méthode sera étendue à un cas 3D et couplée au code Neptune\_CFD.

Sujet de la thèse :

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

**Mehdi COLBERT**

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DPAM/SEMCA/LEC

Tuteur :

Fabienne RIBEIRO

Ecole doctorale :

Aix-Marseille II - Physique et sciences de la matière

Directeur de thèse :

Roland PELLENQ

Financement :

Cofinancement AREVA NC

Le dioxyde d'uranium  $UO_2$  est utilisé en tant que combustible standard dans les réacteurs à eau pressurisée (REP). Pour cette raison il est très important de bien connaître ses propriétés mécaniques, thermiques et physico-chimiques dans les conditions de fonctionnement normales ou accidentelles (600K - 2000K).

Lors des réactions de fissions, des atomes d'éléments légers et lourds sont générés. Parmi ces éléments on compte les gaz rares tel que le Xe et Kr. Ces gaz rares présentent une très faible solubilité dans la matrice combustible et vont donc soit être relâchés, soit former des bulles de gaz (intra ou intergranulaires) au sein de l' $UO_2$ .

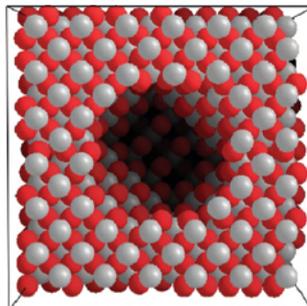
Les performances du combustible nucléaire sont fortement affectées par la présence de ces bulles. On peut distinguer plusieurs effets de ces gaz rares sur la matrice d' $UO_2$  :

- modification de la conductivité thermique dans la pastille,
- modification des propriétés mécaniques du combustible,
- gonflement du combustible dû aux gaz de fission à l'intérieur des bulles,
- fracturation du combustible possible lors d'un changement rapide de température.

Ce dernier point influe fortement sur la quantité et la nature des fragments combustibles qui pourraient être relâchés en cas de rupture de la gaine, ainsi que sur la quantité de gaz relâchés. Les enjeux en terme de sûreté (et d'un point de vue économique), liés à la présence de ces bulles, ont donné lieu à d'importants travaux tant sur le plan expérimental que théorique afin d'accroître notre compréhension de l'ensemble des propriétés physiques et du comportement du combustible.

L'objectif de ce travail est de caractériser l'impact des porosités sur les propriétés mécaniques d'un mono-cristal d' $UO_2$  et plus particulièrement sur ses propriétés élastiques. L'étude sera réalisée par des méthodes de simulations numériques à l'échelle atomique.

Cette première année de thèse a été consacrée, d'une part, à une étude bibliographique sur les problématiques liées aux gaz de fission dans le combustible, ainsi qu'à l'étude de l'impact de porosités sur les propriétés thermo-mécaniques du combustible. D'autre part, un code de simulation Monte-Carlo a été réalisé afin d'étudier l'influence de l'état de surface de ces porosités sur le comportement macroscopique du combustible.



Cellule d' $UO_2$  ( $32\text{\AA} \times 32\text{\AA} \times 32\text{\AA}$ ) contenant une porosité de rayon  $10\text{\AA}$

Sujet de la thèse :

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

**Romain BONHOMME**

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DPAM/SEMIC/LIMSI

Tuteur :

Bruno PIAR

Ecole doctorale : Toulouse - Mécanique, énergétique, génie civil, procédés (MEGEP) - ED468

Directeur de thèse :

Jacques MAGNAUDET

Financement :

IRSN

---

Lors d'un accident grave survenant sur un réacteur à eau sous pression, un bain de corium susceptible de se former dans le puits de cuve et d'évoluer vers une géométrie stratifiée horizontalement séparant deux phases liquides immiscibles. Le corium, chauffé par le dégagement de puissance résiduelle, interagit avec les structures en béton qui le contiennent, et le bain érode peu à peu le radier ainsi que les parois latérales. Cette interaction s'accompagne d'un relâchement important de gaz. Le bain est alors traversé par un flux de bulles dont l'influence sur les échanges thermiques et massiques à l'interface des deux phases liquides reste mal comprise. Cette méconnaissance est notoirement préjudiciable à la fiabilité des simulations d'accident actuelles.

L'étude de la traversée de bulles à travers une interface liquide-liquide fait l'objet, à l'IRSN, d'une approche par simulation numérique directe qui repose sur un modèle à interfaces diffuses (thèses de C. Lapuerta et S. Minjeaud). La validation du modèle établi constitue une difficulté essentielle. Dans ce contexte, l'objectif de la thèse est l'établissement et l'exploitation de résultats de référence en suivant une démarche expérimentale et numérique.

Un dispositif expérimental a été réalisé à l'IMFT (Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse), qui permet le suivi de la traversée d'une bulle d'air à travers une interface entre une solution aqueuse de glycérol et une huile de silicone, dans plusieurs configurations maîtrisées (en termes de propriétés physiques et d'injection de bulle). De plus, ces éléments de la future cartographie d'écoulements ont été explorés conjointement avec les logiciels JADIM de l'IMFT et PELICANS de l'IRSN, conduisant à quelques enseignements préliminaires sur ces deux outils de simulation aux technologies sensiblement différentes.



*Passage d'une bulle d'air à travers une interface eau / huile de silicone 10*

Sujet de la thèse :

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

Shuang WEN

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DPAM/SEMCA/LEC

Tuteur :

Yann MONERIE

Ecole doctorale :

Montpellier II - Information, Structures, Systèmes - I2S

Directeur de thèse :

Bertrand WATTRISSE

Financement :

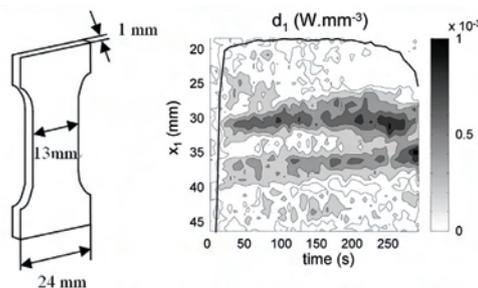
IRSN

Les modèles de zone cohésive sont particulièrement efficaces pour simuler numériquement les processus de fissuration des matériaux. A ce titre, ils constituent un outil privilégié de la thématique « extension de la durée de vie » des centrales nucléaires. Ces modèles consistent à introduire des comportements adoucissants à la frontière des éléments « volumiques » d'une discrétisation de type éléments finis. Leur caractérisation expérimentale reste un enjeu majeur et peu abordé du domaine. De premiers résultats encourageants ont été obtenus par des techniques d'imagerie mécanique (post-doctorat de V. Richefeu, IRSN/CNRS, MIST, 2006-2008).

Eprouvette de traction (cuivre) et évolution de la dissipation intrinsèque avec la localisation de la déformation.

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. 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.

Cette étude a débuté par une étape bibliographique sur les modèles de comportement non linéaires durcissants et adoucissants et sur leurs liens avec les modèles cohésifs. Durant cette première année de thèse, les travaux antérieurs ont été confirmés et étendus par des bilans locaux d'énergie en cours de sollicitation. Les mesures de dissipation intrinsèques obtenues montrent la concentration progressive des sources de chaleur dans les zones de localisation de la déformation. Ces résultats ont été présentés dans des conférences internationales.



Eprouvette de traction (cuivre) et évolution de la dissipation intrinsèque avec la localisation de la déformation.

Pour l'année à venir, le protocole expérimental doit être amélioré par l'introduction de mesures de stéréocorrélation : estimation plus précise de l'état de déformation pendant la localisation, bilans énergétiques plus fiables. L'objectif est d'aboutir à une caractérisation thermomécanique complète des lois de zones cohésives, dans un premier temps pour des matériaux et des sollicitations « modèles », puis pour des situations plus proches des applications traitées par l'IRSN dans le cadre du Laboratoire Commun MIST.

Sujet de la thèse :

Fragmentation dynamique des matériaux frittés : application au combustible nucléaire

Rafik AFFES

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DPAM/SEMCA/LEC

Tuteur :

Yann MONERIE

Ecole doctorale :

Montpellier II - Information, Structures, Systèmes - I2S

Directeur de thèse :

Farhang RADJAI

Financement :

Cofinancement CNRS

Durant leur vie en réacteur, les pastilles de combustible nucléaire se fragmentent progressivement sous l'effet des différentes sollicitations thermomécaniques qu'elles subissent. Elles passent progressivement d'un milieu continu constitué d'une céramique poreuse vers un milieu discret dont la dispersion granulométrique varie spatialement et selon le taux de combustion atteint. La connaissance du comportement de ce milieu et en particulier de sa structure est essentielle aux analyses de sûreté.

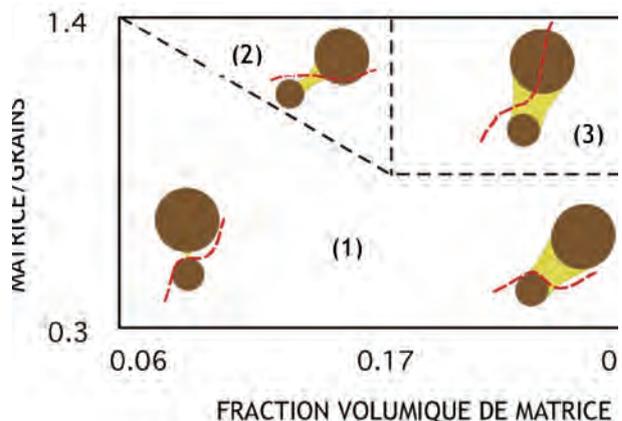
Après une étude bibliographique sur le combustible, les mécanismes physiques de la fragmentation et les milieux granulaires, une méthode numérique sur réseau permettant la prise en compte simultanée d'une phase discrète et d'une phase continue a été retenue pour l'analyse de cette fragmentation.

Cette première année de thèse a été consacrée au développement de la méthode et de l'outil de simulation tridimensionnel associé. Une étude paramétrique a été entreprise afin de comprendre l'effet de la cohésion et de la quantité de matrice sur la propagation des fissures dans un milieu granulaire cohésif modèle : un granulat lié par une matrice poreuse. Selon la configuration microstructurale de ce milieu modèle (typique d'un béton), il a pu être montré que trois régimes de fragmentation doivent être distingués (voir figure).

(1) En deçà d'une valeur critique de la résistance de l'interface matrice/grains, la fissure ne pénètre pas dans les grains et se propage essentiellement à travers la matrice, dans les pores et le long des interfaces entre grains et matrice.

(2) Au-delà de cette valeur critique et lorsque la porosité est forte, la fissure pénètre partiellement dans les grains depuis les ponts de matrice qui concentrent les contraintes menant à l'abrasion de la surface des grains.

(3) Enfin, lorsque la porosité est faible, la fissure se propage aussi bien dans la matrice qu'à travers les grains.



La fin de cette première année sera consacrée à la définition précise des potentialités de la méthode numérique proposée et à la rédaction d'un article. La suite de l'étude concernera une analyse statistique des effets de la microstructure sur la fragmentation d'une céramique frittée (milieu polycristallin poreux). Le rôle de la distribution spatiale des défauts microstructuraux sera en particulier analysé.

Sujet de la thèse :

Modélisation du renoyage d un coeur de réacteur fortement dégradé

**Andrea BACHRATA**

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DPAM/SEMCA/LESAM

Tuteur :

Florian FICHOT

Ecole doctorale : Toulouse - Sciences de l'univers de l'environnement et de l'espace SDU2E

Directeur de thèse :

Michel QUINTARD

Financement :

Cofinancement EDF

In order to predict the safety margin of nuclear reactors under severe accidents with core melting, the possibility of reflood of severely damaged core should be understood. In a late phase of accident there will be a formation of debris bed where the particles may reach very high temperatures. Currently, the coolability of this porous heat-generating medium is studied theoretically and experimentally. The model of two-phase flow of water in a porous medium is being developed by IRSN and is implemented into a computer code for accident analysis ICARE/CATHARE. The future objective is to improve the existing reflood model especially in the area of film boiling and transition boiling zone. In parallel, the experimental facility PEARL is going to be constructed to study the reflood of particles bed initially at high temperatures. The main objective of the PEARL experiment is the improvement of knowledge of the thermal hydraulics in a debris bed during reflooding and to study 2D effects during quenching. Before designing the PEARL experiments facility, the specific preliminary PRELUDE experiments were performed. The series of PRELUDE tests were performed in 2009 and proposed yet an interesting data for validation and verification of the previously developed non-equilibrium two-phase flow model for reflood of porous media.

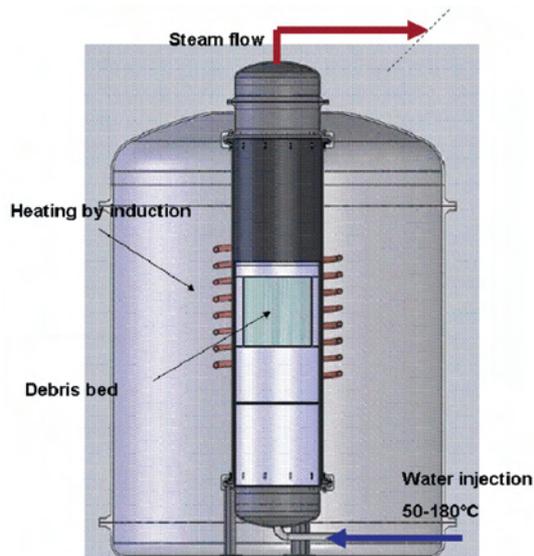


Figure 1 : PEARL experimental facility

Sujet de la thèse :

Ebullition en film transitoire: évaluation du transfert de chaleur dans le contexte d'un RIA dans un REP

Roberta VISENTINI

Date de début :

11-2009

Laboratoire :

DPAM/SEMCA/LEMAR

Tuteur :

Pierre RUYER

Ecole doctorale : Toulouse - Mécanique, énergétique, génie civil, procédés (MEGEP) - ED468

Directeur de thèse :

Catherine COLIN

Financement :

Cofinancement EDF

La démonstration de sûreté des réacteurs à eau pressurisée considère un type d'accident dit de réactivité, qui pourrait être provoqué par l'éjection d'une grappe de commande (un des systèmes de contrôle des réactions). La réaction nucléaire s'emballe alors localement pendant quelques dizaines de millisecondes et provoque un pulse de puissance de grande amplitude. La température du combustible augmente fortement et dans un temps très court. La chaleur se transmet via la gaine jusqu'au réfrigérant qui peut se vaporiser.

Une étude bibliographique sur les transferts thermiques en régime d'ébullition transitoire a été effectuée en début de thèse, ce qui a permis dans un deuxième temps de définir un dispositif expérimental.

Des études ont déjà été réalisées sur l'ébullition transitoire provoquée par un pic de puissance, en particulier des expériences (NSRR Japon, PATRICIA (F), BIGR (Russie)) et des simulations (SCANAIR, TH2D) qui ont permis de tracer la courbe d'ébullition. Cependant, il y a encore assez peu de connaissance sur la caractérisation du transitoire et sur le mécanisme physique qui gouverne le régime final.

On souhaite découvrir quel est le mécanisme déclencheur de la transition vers l'établissement d'un film de vapeur en paroi, caractériser la nature du transitoire et déterminer les coefficients d'échange. Pour cela on veut réaliser une expérience représentative visant à reproduire et à expliquer le phénomène.

L'expérience devra satisfaire au mieux les conditions de similitude des réacteurs, mais permettre de réaliser des mesures fines et des visualisations. On propose alors un design spécifique et original : un demi-cylindre transparent au rayonnement infrarouge à l'extérieur duquel sera réalisé un dépôt métallique (voir figure). Le dépôt en contact avec l'écoulement de réfrigérant sera chauffé par effet Joule, grâce à une alimentation électrique programmable permettant de réaliser des rapides montées en températures et des transitoires de refroidissement reproduisant l'inertie du crayon réel. La température de paroi sera mesurée par thermographie infrarouge. Une camera rapide permettra de visualiser les régimes d'ébullition. Des mesures de températures et de pression du fluide seront aussi réalisées. Ces expériences devraient permettre de mesurer les coefficients d'échange de chaleur dans les différents régimes d'ébullition transitoire.

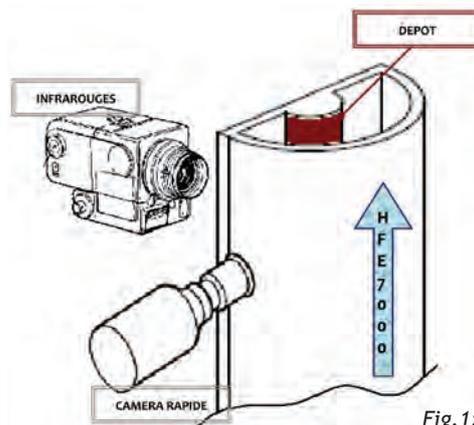


Fig. 1: schéma de la section d'essai

Sujet de la thèse :

Pyrolyse et production de suies dans les feux en atmosphère sous-ventilée

**Rodrigo DEMARCO**

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DPAM/SEMIC/LIMSI

Tuteur :

Stéphane MELIS

Ecole doctorale : Aix-Marseille I - Sciences pour l'Ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et

Nanoélectronique

Directeur de thèse :

Jean-Louis CONSALVI

Financement :

Cofinancement INERIS

Les feux en atmosphère sous-ventilée sont représentatifs du risque incendie dans les installations nucléaires. La combustion dans cette configuration est complexe notamment en raison du fait que la production des suies est encore mal maîtrisée. Or, la teneur en suies joue un rôle primordial dans les propriétés radiatives de la flamme et donc dans la pyrolyse du combustible. Ainsi, l'objectif de la thèse est d'étudier les modèles de rayonnement et de formation des suies en conditions de sous-ventilation.

La première étape de la thèse a été d'étudier les différents schémas numériques disponibles pour représenter les échanges radiatifs dans des milieux représentatifs de l'incendie, c'est-à-dire comportant un mélange de vapeur d'eau, de dioxyde de carbone et de suies. L'équation du transfert radiatif, résolue par une méthode de volumes finis, permet de fournir des solutions adéquates avec un coût bien moins important que la méthode du tracé de rayon. La représentation des propriétés radiatives du gaz nécessite un compromis entre le temps de calcul et la prise en compte de la forte dépendance du coefficient d'absorption à la longueur d'onde. Les modèles à bande nécessitent d'être couplés à un schéma de mélange efficace afin de fournir un compromis raisonnable entre la précision et le temps de calcul. En particulier, les gaz ne peuvent être considérés comme gris à l'intérieur de chaque bande de longueur d'ondes et les modèles « k-distribution », où les coefficients d'absorption spectraux sont réarrangés de façon à se ramener à une fonction monotone, permettent de réduire le nombre d'équations résolues moyennant une hypothèse sur la corrélation des coefficients. Les modèles globaux tels que la somme pondérée de gaz gris, bien que très populaires en raison de leur rapidité, ne permettent pas de représenter les transferts radiatifs dans les flammes de façon satisfaisante. Des modèles globaux, dérivés des modèles à bandes mais considérant l'ensemble du spectre, permettent de limiter les points de quadrature à un nombre très réduit et constituent donc pour des applications pratiques le meilleur compromis entre le temps de calcul et la précision sur l'ensemble de nos configurations d'intérêt.

Sujet de la thèse :  
Schémas numériques pour la simulation des grandes échelles

Fanny DARDALHON

Date de début :

Laboratoire :

Tuteur :

Ecole doctorale :

Directeur de thèse :

Financement :

10-2009

DPAM/SEMIC/LIMSI

Céline LAPUERTA

Marseille - Mathématiques et informatique ED184

Franck BOYER

Cofinancement Rég PACA

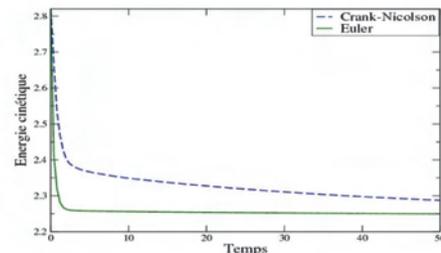
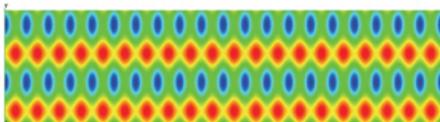
La simulation d'écoulements turbulents est nécessaire dans les études de sûreté, par exemple pour la simulation des incendies dans des locaux confinés et ventilés mécaniquement ou pour la simulation d'écoulements dans le circuit primaire d'un réacteur pour prévenir des ruptures par fatigue thermique de certains composants.

La croissance des puissances de calcul permet de simuler la turbulence par Simulation des Grandes Echelles (ou LES). Cette méthode permet de simuler les grandes échelles de la turbulence, contrairement aux modèles statistiques utilisés actuellement dans le logiciel ISIS développé à la DPAM. L'objectif de la thèse est de développer et d'analyser des schémas numériques performants pour la LES dans des domaines de géométrie complexe (utilisation de maillages non-structurés) pour des écoulements incompressibles ou à faible nombre de Mach. Les développements réalisés seront capitalisés dans le logiciel ISIS.

Afin de mieux appréhender la LES et l'influence des paramètres numériques sur les résultats, une étude est réalisée pour le cas-test (académique) du canal plan périodique pour lequel des résultats de référence précis obtenus par simulation numérique directe sont à notre disposition.

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 plusieurs techniques : le schéma MAC ou des éléments finis tels que l'élément de Rannacher-Turek et le Q2/P1 (couramment utilisé dans la littérature). La comparaison des performances de ces discrétisations est en cours et permet de comprendre quelles qualités devra présenter le schéma numérique envisagé par la suite.

Actuellement, il existe dans la littérature peu d'arguments théoriques permettant d'orienter le choix du schéma. La conservation de l'énergie cinétique semble essentielle. Une partie du travail a donc porté sur l'étude de la conservation de l'énergie cinétique pour deux schémas en temps : Euler et Crank-Nicolson. Théoriquement, en établissant l'équation d'évolution satisfaite par l'énergie cinétique associée à la solution numérique, il est apparu que le schéma de Crank-Nicolson introduit moins de dissipation numérique que le schéma d'Euler. Ceci a été vérifié numériquement pour des écoulements incompressibles (voir figures).



a) Norme de la vitesse initiale

(b) Énergie cinétique pour un pas de temps de 0.1s

Fig. Écoulement initialement perturbé et que l'on laisse évoluer vers une solution constante en espace sous l'effet de la dissipation visqueuse.

Sujet de la thèse :

Evaluation des fluctuations de température par simulation des grandes échelles

**Raphaël MONOD**

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DPAM/SEMIC/LIMSI

Tuteur :

Guillaume BRILLANT

Ecole doctorale :

Perpignan - Energie et environnement

Directeur de thèse :

Françoise DAUMAS-BATAILLE

Financement :

Cofinancement CEE

Dans un contexte actuel de développement durable, des centrales à neutrons rapides connaissent un regain d'intérêt. La conception de ces centrales à fort rendement énergétique conduit à l'utilisation de Tés de mélange à fort écart de température. L'histoire a révélé que suite à des phénomènes de fatigue thermique, ces Tés sont susceptibles de rompre. Par conséquent, l'étude de la fatigue thermique dans un Té de mélange est un point important dans les études des dossiers de sûreté de ces centrales.

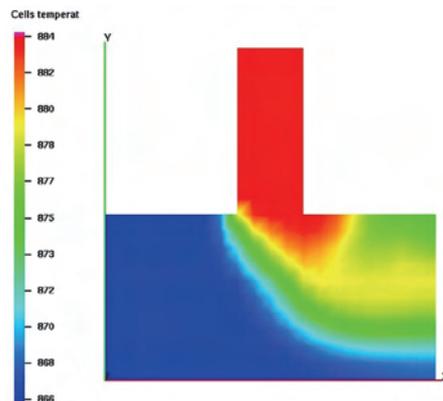


Figure 1 : Profil de température moyenne dans un Té de mélange obtenu avec ISIS

Dans le cadre de cette thèse, les simulations sont effectuées avec le code ISIS, code de CFD (Computational Fluid Dynamics) de simulation d'incendie qui est développé au sein de l'IRSN (DPAM/SEMIC/LIMSI). Il s'agit de simulations de type Simulation des Grandes Echelles (SGE). Cette technique simule les grosses structures d'un écoulement turbulent, responsables du transport de l'énergie, et modélisent les petites structures, responsables de la dissipation d'énergie. Elle permet un compromis très intéressant entre la précision des résultats et le coût en calcul. Les simulations concerneront principalement des écoulements de sodium, même si le code sera validé dans un premier temps sur de l'eau et de l'air. Dans un premier temps nous étudierons des conduites à section carrée (maillées en éléments conformes) puis des sections à section circulaire (maillées en éléments non conformes).

La SGE s'avère être extrêmement sensible aux conditions limites. Le développement d'une entrée turbulente est donc nécessaire afin d'obtenir des résultats corrects. Le premier volet de la thèse a porté donc sur l'étude d'un canal plan périodique (cas test très présent dans la littérature). Une coupe y est réalisée sur une durée supérieure à la période des phénomènes les plus lents, et servira d'entrée turbulente pour la simulation du Té de mélange. L'avancement actuel des travaux permet la simulation complète d'un Té de mélange à section carrée, avec modélisation des petites échelles thermiques et dynamiques. Les résultats de cette étude feront l'objet d'un article dans une revue scientifique qui devrait être soumis d'ici la fin de cette année.

Sujet de la thèse :

Méthodes de correction de pression pour les écoulements diphasiques en milieux poreux

**Tan-trung NGUYEN**

Date de début :

11-2009

Laboratoire :

DPAM/SEMIC/LIMSI

Tuteur :

Jean-Claude LATCHE

Ecole doctorale :

Marseille - Mathématiques et informatique ED184

Directeur de thèse :

Raphaèle HERBIN

Financement :

Cofinancement EDF

---

The context of the present PhD is the simulation of Loss of Coolant Accidents (LOCA) in Pressurized Water Reactors. To this purpose, a set of computer codes are developed, dealing with the thermal-hydraulics of the primary and secondary circuit with simplified to more and more sophisticated models. Most of these codes are included in the NEPTUNE framework, developed in a joint effort at CEA, EDF and IRSN.

These computer codes are based on physical models which appear to be extremely complicated from a mathematical point of view. For instance, in a computed flow, purely liquid zone usually coexists in time and/or space with purely gaseous zones; in the first ones, the fluid is incompressible, while, in the second one, it obeys a system of partial hyperbolic equations.

As a consequence, the design of numerical schemes to solve these governing equations is far from being an easy task. In most of the NEPTUNE modules, they are based on a class of methods coming from the incompressible world, namely the pressure correction methods. The first objective of the present work is to address the capability of some variants of these schemes to compute the whole range of flows of interest.

The considered physical model is the simplest of the two-phase flows model, the so-called drift flux model. It consists of the Navier-Stokes equations (mass, momentum and energy balance equations) for the mixture, combined with the mass balance equation for one of the phases. The velocities of both phases are supposed to be correlated by a known closure law, depending on the local pressure gradient. At the observation scale, the medium (the spatial domain delimited by the external walls of the vessel and including all the inner structures of the core) is seen as a porous medium.

The first step of this work was to precisely state the system(s) of equations to be solved. To this aim, we first laid down the balance equations, letting unchanged the equation of state of the fluid. Then, we took benefit of the fact that the fluid velocity, in many situations of interest, is small compared to the sound velocity to derive a reduced model, usually qualified as an asymptotic low Mach model. The initial system is compressible, while the second is not.

Next stage is to derive fractional step schemes, based on a pressure correction technique, to solve both of these systems. As a first step, we are developing a staggered space discretization, with the same unknowns (so as cheap as the well-known MAC scheme), but able to deal with unstructured meshes.

Sujet de la thèse :

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

**Mohamad AL SHAMA**

Date de début :

01-2009

Laboratoire :

DSR/SAMS/BAGCS

Tuteur :

Georges NAHAS

Ecole doctorale :

Paris 12 - Sciences ingénierie et environnement

Directeur de thèse :

Jean-Michel TORRENTI

Financement :

IRSN

---

La réaction sulfatique interne (RSI) provoque un gonflement du béton qui engendre une fissuration de la structure. L'origine de ce gonflement est attribuée à la formation d'ettringite différée qui présente, sous certaines conditions thermodynamiques, des propriétés expansives. C'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 de l'ouvrage en béton sont réunies. La découverte des manifestations délétères de la RSI est récente (les premiers cas identifiés en France datent de 1998). Ce phénomène peut affecter deux types de bétons : les bétons traités thermiquement et les bétons coulés en place, notamment les pièces massives. Dans les ouvrages nucléaires, où il existe des pièces massives, l'éventualité de rencontrer ce phénomène ne peut pas être écartée. En effet, il existe des pièces massives dans les ouvrages de génie civil pour lesquelles un échauffement important a pu se produire lors de la prise du béton. Ce risque doit être étudié d'autant plus que le prolongement de la durée de vie des installations est envisagé.

Compte tenu de cette problématique spécifique, on se propose d'étudier les risques de développement d'une RSI dans les bétons de structure des ouvrages nucléaires. L'étude porte sur l'incidence de différents paramètres sur le développement de la RSI. On s'intéresse notamment à examiner leur influence sur l'intensité et la cinétique de la RSI. Les facteurs dont l'impact n'est pas clairement identifié sont à ce jour l'humidité relative critique et les caractéristiques du squelette granulaire. Par ailleurs, l'influence du développement d'une RSI sur les propriétés de transfert du béton (perméabilité, porosité) sera également étudiée afin de vérifier le niveau d'étanchéité du béton vis-à-vis notamment du transfert de l'eau. Un modèle numérique sera développé dans l'optique de l'utiliser comme matériau libre dans les logiciels. Ce modèle apportera des éléments de compréhension du mécanisme d'endommagement du béton sous l'effet d'une RSI.

Sujet de la thèse :

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

Jérémy SABARD

Date de début :

11-2009

Laboratoire :

DSR/SAGR/BPhAG

Tuteur :

Ahmed BENTAIB

Ecole doctorale :

Orléans - Sciences et technologies EDST

Directeur de thèse :

Nabiha CHAUMEIX

Financement :

Cofinancement Région Centre

---

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 (vapeur) ou par l'entrée d'air 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 et du monoxyde de carbone accentuant ainsi le caractère explosible 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.

Lors de cette première année de thèse, une étude bibliographique a été réalisée au laboratoire ICARE d'Orléans. Celle-ci a permis de mettre en exergue d'une part le manque de données dans la littérature concernant ce type de mélanges et l'effet important sur l'explosibilité de ces mélanges des paramètres tels que la température, la pression, la concentration en gaz et en poussières dans le milieu ou encore la taille des poussières. Cette analyse a permis aussi de définir une matrice d'essais sur la bombe sphérique dédiés à la détermination des limites d'inflammation et de mesure de l'évolution de pression pour des mélanges diphasiques composés de poussières (W+C), d'hydrogène et d'air.

Dans ce cadre, des expériences préliminaires, en bombe sphérique, concernant des mélanges gazeux hydrogène - oxygène - azote ont été réalisés. Les expériences ont été réalisées pour des températures allant de 303 à 383K et des pressions allant de 50 à 140kPa pour différents concentrations d'hydrogène et d'oxygène dans le mélange.

Enfin, une modélisation 0-D utilisant le code COSILAB a été réalisée, permettant de déduire la vitesse fondamentale de flamme sur la base de deux mécanismes cinétiques détaillés : Wang et Mével. Les valeurs ainsi déduites seront comparées aux valeurs expérimentales permettant de choisir l'un de ces deux modèles pour la suite de l'étude.

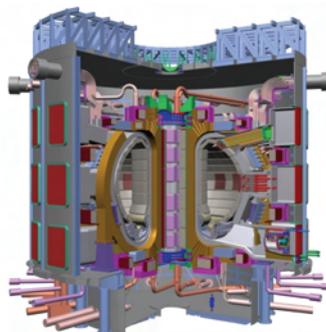


Figure 1 : Schéma du réacteur ITER

Sujet de la thèse :

Étude du comportement de dalles en béton soumises à un impact : Caractérisation du matériau, Modélisation et Validation

**Xuan dung VU**

Date de début :

Laboratoire :

Tuteur :

Ecole doctorale :

Directeur de thèse :

Financement :

10-2009

DSR/SAMS/BAGCS

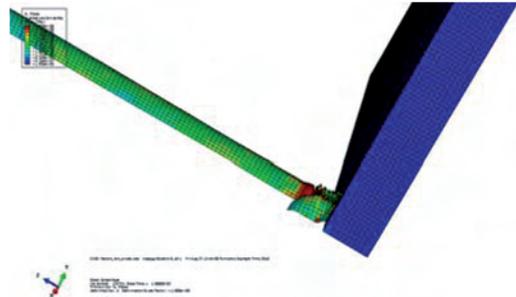
Bertrand CIRÉE

Grenoble - IMMEEP

Laurent DAUDEVILLE & Yann MALÉCOT

Cofinancement CNRS

Le béton est un matériau utilisé beaucoup dans la construction des ouvrages d'art grâce à sa résistance sous divers sollicitations. C'est un matériau hétérogène qui est constitué de différentes composantes : sable, granulats, l'eau, ciment. Due à son hétérogénéité, le comportement du béton est complexe. Dans la littérature, plupart des études concerne seulement le comportement statique du béton due à sa simplicité de réalisation.



Par contre, pour ce qui concerne son comportement dynamique, il y a encore peu d'étude sur l'effet de vitesse. Dans le cadre de cette thèse, l'objectif est de caractériser le comportement dynamique du béton sous l'effet de vitesse lors que le béton est soumis à un impact et d'avoir un outil numérique assez fort pour modéliser bien son comportement. Dans la première année de thèse, Je dois caractériser le comportement statique et le comportement dynamique du béton EC50 utilisé dans les essais d'impact VTT et prendre en main les logiciels ABAQUS et LS-DYNA avec les différents modèles de comportement dynamique PRM couplé et Malvar.

■ Etudes expérimentales :

Les premiers résultats des compressions simples du béton étudiés nous ont donné les constants d'élasticité  $E, \nu, \sigma_c$ . Ces résultats sont reproductibles.

Echantillon EC50	CS1	CS2	CS3
Condition de conservation	saturé à l'air libre	saturé à l'air libre	saturé à l'air libre
Résistance en compression (Mpa)	53.578	52.652	54.968
Module de Young E (Gpa)	35.169	37.299	-
Coefficient de Poisson ( $\nu$ )	0.247	0.244	-

■ Etudes numériques :

Les études numériques comportent deux parties :

- Identification du modèle PRM couplé pour béton R30A7 et EC50 (évalué de R30A7)
- Réalisation des essais d'impact Benchmark avec le modèle PRM couplé

Perspective :

- Partie expérimentale :
  - Compléter les essais de compression triaxiales à 12,5 MPa, 25 MPa, 50 MPa, 100 MPa de confinement.
- Partie numérique :
  - Tester du modèle Malvar avec LS\_DYNA
  - Amélioration du modèle PRM couplé :
    - Amélioration des effets de l'eau
    - Prise en compte des effets des contraintes de cisaillement au comportement volumique.

Sujet de la thèse :

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

Alexis JINAPHANH

Date de début :

11-2009

Laboratoire :

DSU/SEC/LERD

Tuteur :

Joachim MISS

Ecole doctorale :

Grenoble - Physique

Directeur de thèse :

Annick BILLEBAUD

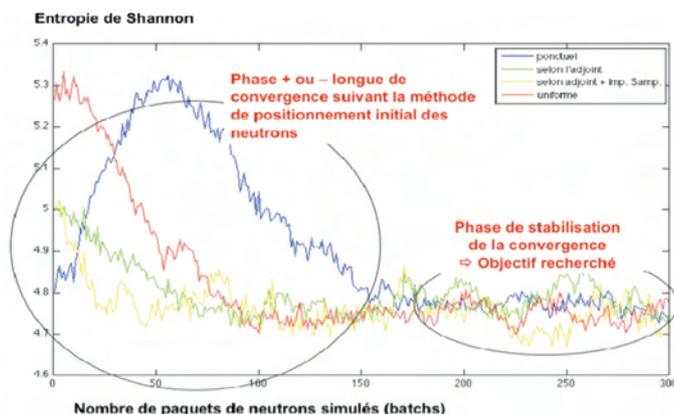
Financement :

IRSN

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 pour les configurations délicates (prise en compte de profils d'irradiation des assemblages, modélisations d'installations de très grandes dimensions telles que des cœurs de réacteurs...) présentant des faibles couplages neutroniques pouvant conduire à une mauvaise estimation (voire une fausse) du keff effectif (facteur de multiplication des neutrons), ou à une mauvaise estimation de la distribution des flux utilisés pour les calculs couplant codes d'évolution et codes Monte Carlo. Ces recherches sont menées dans le cadre d'un accord de collaboration entre l'IRSN (expert dans le développement des méthodes Monte Carlo en neutronique) et l'Ecole Polytechnique de Montréal Montréal (experte dans le développement des méthodes déterministes pour la physique des réacteurs).

La convergence d'un code Monte-Carlo est séparée en deux étapes distinctes : la convergence « géométrique » vers la distribution réelle des neutrons et la convergence statistique vers une estimation du Keff d'incertitude minimale. C'est la première étape que nous cherchons à améliorer. La vitesse et la qualité de la convergence dépendent de la distribution initiale des neutrons ainsi que du ratio de convergence. Afin d'améliorer cette convergence, deux méthodes ont pour le moment été retenues : le placement des neutrons de première génération grâce au flux adjoint ainsi que la méthode d'Importance Sampling. La première méthode consiste à utiliser un adjoint calculé de manière déterministe pour placer les sources de neutrons selon les zones de plus fortes importances afin de se rapprocher de la distribution réelle des neutrons dans le système. L'idée de la seconde méthode est de favoriser l'échantillonnage des régions d'importance neutronique forte. Des prototypes de ces deux méthodes ont été développés dans le module Monte-Carlo de DRAGON.

La méthode d'Importance Sampling présente un écart type plus important, mais semble permettre une première phase de convergence et de stabilisation plus réduite, incitant à poursuivre nos recherches d'optimisation de cette voie. Ci-dessous le tracé de l'entropie de Shannon (indicateur de convergence) pour différents placements des termes initiaux et avec la méthode d'Importance Sampling.



## 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

**Arnaud QUEREL**

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DSU/SERAC/LECEV

Tuteur :

Emmanuel PORCHERON

Ecole doctorale :

Clermont Ferrand II - Sciences fondamentales

Directeur de thèse :

Andréa FLOSSMANN

Financement :

IRSN

L'analyse de l'accident de Tchernobyl a mis en évidence la forte corrélation entre les zones de précipitation et la contamination des sols. Pour mieux comprendre et prédire le phénomène de rabatement des aérosols radioactifs, l'IRSN a lancé un programme de recherche traitant de cette problématique.

Dans ce cadre, cette thèse a pour objectif d'étudier les mécanismes élémentaires de collecte des aérosols par des gouttes de pluie. Une des approches de ce travail consiste à corréler les efficacités de collecte par les gouttes de pluie (de 500  $\mu\text{m}$  à 6 mm) avec des mesures de champs de vitesse du gaz dans la couche limite et dans le sillage des gouttes.

Enfin, ces efficacités sont intégrées dans un code développé au Laboratoire de Météorologie Physique (LAMP, Clermont-Ferrand) qui modélise la colonne atmosphérique et qui permet de calculer le lessivage de l'atmosphère par la pluie.

Les mesures autour des gouttes seront effectuées dans BERGAME (Banc d'Etude du Rabatement Gouttes/Aérosols et des Mesures d'Efficacité). Ce banc est composé de trois modules : un générateur de gouttes de pluie, un puits de 10 m de hauteur, afin de donner aux gouttes leur vitesse de chute terminale, et une « veine d'essai ». Celle-ci est remplie d'aérosols et permet d'effectuer des mesures d'écoulements autour de la goutte et d'efficacités de collecte. Une combinaison de mesures PIV (Particle Imagery Velocimetry) et ombroscopique permet une mesure des champs de vitesse autour de chacune des gouttes pénétrant dans la veine.

BERGAME est prévu pour étudier l'efficacité de collecte en fonction de l'humidité, des charges électrostatiques des gouttes et du vent.

Un prototype de BERGAME a été monté au cours de la première année de la thèse pour démontrer la faisabilité des mesures et la mise au point des techniques d'imageries. Les programmes de traitements d'images ont aussi été réalisés, permettant d'obtenir les premiers champs de vitesse autour des gouttes (Figure 1).

En plus des mesures obtenues sur BERGAME, il est prévu au cours de cette thèse d'appliquer la technique « PIV+ombroscopie » sur une soufflerie de l'université de Mayence. Ceci pour mesurer des écoulements autour des gouttes mises en sustentation dans la soufflerie, et observer l'évolution d'une goutte pendant quelques minutes.

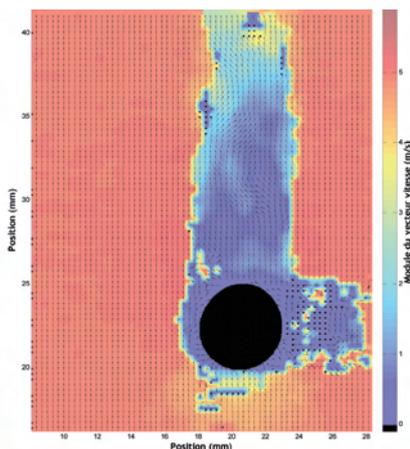


Figure 1 : Champs de vitesse d'aérosols de 400 nm autour d'une goutte de 5 mm chutant à 4,9 m/s, dans le référentiel de la goutte

Sujet de la thèse :

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

**Edouard BRUGIERE**

Date de début :

11-2009

Laboratoire :

DSU/SERAC/LPMA

Tuteur :

Francois GENSDARMES

Ecole doctorale : Rouen - Sciences physiques, mathématiques et information pour l'ingénieur  
SPMII

Directeur de thèse :

Alexis COPPALLE

Financement :

IRSN

---

Dans le cadre d'une situation accidentelle et plus particulièrement 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 à l'intérieur des installations. Si nombre des particules ainsi produites sont récupérées par filtration, une quantité non négligeable est susceptible de se déposer sur des surfaces d'un local ou en conduit de ventilation. Les conditions d'incendie provoquant la présence de forts gradients thermiques, font que le phénomène de dépôt thermophorétique est susceptible de jouer un rôle prépondérant. De nombreux codes de calcul modélisant le transfert et le dépôt des aérosols par thermophorèse ont été développés au sein de l'IRSN (ASTEC, SYLVIA, ISIS...). Ces codes utilisent des lois de dépôt validées, la plupart du temps, pour des particules idéales sphériques. Cependant, il est maintenant bien établi que, dans certaines situations d'incendie, les particules de suie émises sont caractérisées par une morphologie complexe : il s'agit d'agrégats « fractals » et de nombreuses études ont été faites afin de caractériser la morphologie de ces particules, ou encore d'établir le lien entre les différents diamètres représentatifs (diamètre de mobilité électrique, diamètre aérodynamique).

L'objectif de cette thèse est d'améliorer la compréhension et de permettre une meilleure modélisation du dépôt des particules de combustion, par l'étude expérimentale du comportement des agrégats afin de prendre en compte la morphologie des agrégats sur leur dépôt par effet thermophorétique. Les résultats seront analysés par rapport aux modèles de dépôts existant dans la littérature pour des particules sphériques, notamment ceux identifiés dans les travaux de l'IRSN, afin de développer de nouvelles lois de dépôts appliquées aux agrégats ou d'apporter des compléments aux lois existantes.

La première partie des travaux concerne une synthèse bibliographique portant, dans un premier temps, sur les différentes lois de dépôt par thermophorèse existant pour les particules sphériques, ainsi que l'identification d'expérience de référence concernant les dépôts d'aérosols par thermophorèse pour des particules sphériques ou ayant des diamètres équivalents bien identifiés ; dans un deuxième temps, elle porte sur les caractéristiques fractales définissant la morphologie des agrégats de suies ainsi que les rares résultats présentant une influence de cette morphologie sur leur comportement thermophorétique. La deuxième partie des travaux est d'élaborer un banc expérimental pour mesurer la vitesse de thermophorèse pour des agrégats de diamètres équivalents et de formes bien caractérisés.

## Sujet de la thèse :

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

**Vincent CESARD**

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DSU/SERAC/LECEV

Tuteur :

Corinne PREVOST

Ecole doctorale :

Nancy I - Energie, Mécanique, Matériaux - ED409

Directeur de thèse :

Benoit OESTERLE

Financement :

Cofinancement INRS

---

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. Les travaux de thèse doivent permettre de quantifier l'exposition des opérateurs et de mettre en place des moyens de protection adéquats.

Plusieurs études analytiques ont déjà été menées à l'IRSN et à l'INRS sur l'efficacité de confinement dynamique de différents dispositifs, mais aucune d'entre elles n'a porté sur des aérosols nanométriques. Ainsi, l'objet de la thèse consiste à étudier les performances du confinement dynamique d'une enceinte ventilée autour d'une source d'émission nanoparticulaire.

La première année de thèse s'est orientée suivant trois axes :

-un premier dédié à la recherche bibliographique faisant l'état des connaissances sur les nanoparticules, les techniques de mesure et les enceintes ventilées. L'étude a montré qu'un nombre assez restreint d'études, qui plus est récentes, avait porté sur l'efficacité de dispositif de confinement dynamique face à des aérosols de taille nanométrique. De plus, les résultats obtenus ne sont pas forcément concordants. Malgré cela, certains constructeurs proposent déjà des dispositifs soit disant adaptés à l'usage des nanoparticules.

-Un second axe mené en parallèle concerne le développement d'un modèle numérique simulant le dépôt de nanoparticules dans un canal 2D, basé sur un modèle Euler/Euler issu de la littérature.

-Et enfin, le troisième et dernier axe porte sur la conception d'un banc expérimental de test des dispositifs de confinement des nanoparticules. Ce dernier est constitué d'un PSM (Poste de Sécurité Microbiologique) qui représente l'enceinte ventilée ; il est implanté à l'intérieur d'une salle blanche dédiée, en cours de caractérisation.

Sujet de la thèse :

Evaluation des doses dues aux neutrons secondaires reçues par les patients traités par protonthérapie au cours des traitements intracrâniens

Rima SAYAH

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DRPH/SDE/LDRI

Tuteur :

Laurent DONADILLE

Ecole doctorale :

Paris XI - STITS (Sciences et Technologies de l'Information des Télécommunications et des Systèmes), ED422

Directeur de thèse :

Joel HERAULT

Financement :

Cofinancement Institut Curie

---

La protonthérapie, technique utilisée pour le traitement du cancer, est de plus en plus répandue en raison des propriétés balistiques et dosimétriques des faisceaux de protons. Récemment, une nouvelle salle de traitement équipée d'un bras isocentrique a été installée au Centre de protonthérapie d'Orsay. Elle utilise un faisceau de 200 MeV dédié au traitement des tumeurs intracrâniennes. Les interactions subies par les protons dans les éléments de la ligne, dans la salle et dans le patient génèrent des neutrons susceptibles de délivrer en dehors du champ de traitement une dose indésirable qui sera calculée dans cette étude par Monte Carlo en s'intéressant aux cas des traitements pédiatriques.

Le travail consiste à modéliser la ligne et la salle de traitement par MCNPX. Ce modèle doit être validé par des mesures dont la première concerne la dose déposée dans un fantôme d'eau. Les validations suivantes consistent à comparer les résultats du modèle d'une part à la dose déposée par les neutrons dans différents points d'un fantôme physique, mesurée par des détecteurs de traces du type CR-39, et, d'autre part, à l'équivalent de dose ambiant mesuré à l'aide de radiamètres en différents points de la salle. Des fantômes voxel pédiatriques doivent être ensuite introduits dans le modèle pour calculer la dose déposée par les neutrons dans les différents organes. Actuellement, une étude bibliographique a été faite sur des travaux réalisés dans ce domaine. Une modélisation MCNPX de la salle de traitement a été effectuée en se basant sur les plans délivrés par l'ICPO (fig.1). De même, un étalonnage des CR-39 et des radiamètres utilisés a été effectué à TSL (Uppsala) pour des champs de neutrons de 20 à 175 MeV. La lecture du nombre de traces créées à la surface des CR-39 à l'Institut de Physique Nucléaire, et le calcul de la dose déposée à ces détecteurs par MCNPX ont permis de relier le nombre de traces à la dose déposée. Pour les radiamètres, les valeurs de l'équivalent de dose ambiant calculées à l'aide des coefficients de conversion fournis par la CIUR, ont été reliées aux mesures données par les instruments.



Figure 1 : Modélisation de la nouvelle salle de traitement de l'ICPO par MCNPX

## 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

Jean-victor LACAVE-LAPAU LIN

Date de début :

11-2009

Laboratoire :

DRPH/SRBE/LRTE

Tuteur :

Christine LINARD

Ecole doctorale :

Paris VI - Physiologie et physiopathologie - ED394

Directeur de thèse :

Christine LINARD

Financement :

IRSN

---

Radiation enteropathy is an important obstacle to the radiocurability of abdominal tumors. The research for treating the lesions due to the radiotherapy tries to ameliorate the patient's quality of life and is for saving his life in accidental exposure. Inflammation and adaptative immunity imbalance have been previously demonstrated to be implicated in irradiation induced intestine damage and may influence the effectiveness of radiotherapy and the adverse effect on healthy tissue. Radiation-mediated immune modulation is poorly understood and unquantified.

The Th1 cytokine IFN- $\gamma$  plays a critical role in both innate and adaptive immune responses to a variety of infectious agents. Some studies have shown an important repression of IFN- $\gamma$  in the tissue after irradiation hypothesized in the genesis of the immune imbalance.

The Toll like Receptors (TLRs) are an important actor of innate immunity. They recognise many pathological components. Numerous studies have shown that the activation of TLRs can generate an important production of IFN- $\gamma$ .

In the first step in the rat, using a model of colo-rectal irradiation in a non-ulcerative dose of 20 Gy we evaluated the TLRs expression level in isolated epithelial cells and immune cells at 3, 7, 14, 30 days after irradiation.

In the preliminary results in the colon, the real time PCR and the flow cytometry analyses showed an up regulation of the TLR 2 and 4 expressions in the epithelial and immune cells after irradiation. These data confirm that irradiation modified the innate immunity. Like a balance between the immune system and the epithelial components is required for successful tissue repair, all strategies targeting IFN- $\gamma$  restoration may provide radioprotection to patients. In this way, in a second step, we have chosen to ameliorate the IFN- $\gamma$  level by activation of the TLRs *in vivo* with different specific ligands.

Sujet de la thèse :

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

**Ingrid NOSEL**

Date de début :

10-2009

Laboratoire :

DRPH/SRBE/LDB

Tuteur :

GAETAN GRUEL

Ecole doctorale :

Evry Val d'Essonne - des génomes aux organismes

Directeur de thèse :

Patrick LALOI

Financement :

Cofinancement MESR

---

En cas d'accident d'irradiation, la connaissance de la dose reçue (mesurée en Gray) est essentielle afin de prédire les conséquences sur les différents tissus de l'organisme et adapter la prise en charge médicale. Or, il s'avère que les différentes approches scientifiques actuelles ne permettent nullement de définir la dose reçue en cas d'accident impliquant de faibles doses (<100mGy). De ce fait, une approche par la biotechnologie « puces à oligonucléotides » aura pour objectif d'identifier des « senseurs moléculaires » à ces faibles doses, dans le but de mettre au point un test d'exposition. Du fait de l'extrême sensibilité du tissu hématopoïétique aux rayonnements ionisants, le choix de notre étude s'est plus particulièrement porté en faveur des lymphocytes et plus précisément les lymphocytes T4.

Durant la première année de thèse, l'approche puce à oligonucléotides sera utilisée pour identifier des biomarqueurs aux faibles doses. Il faudra ensuite déterminer la dose minimum détectable par cette technique lors de l'exposition ex vivo d'échantillons de sang humain ainsi que la limite temporelle maximum de détectabilité.

En outre, au cours de la deuxième année de thèse, il faudra s'assurer de la spécificité de la réponse obtenue, c'est à dire qu'il va nous falloir garantir que l'effet de l'irradiation caractérisée ex vivo ne peut être modulé ou induit par d'autres stress.

En somme, la dernière année se portera sur l'analyse et la synthèse des résultats obtenus et permettra de statuer sur l'existence d'un ou de biomarqueurs moléculaires pertinents pour le développement d'un test d'exposition aux faibles doses de rayonnements ionisants.

Sujet de la thèse :

Optimisation des programmes de surveillance de la contamination interne par l'étude des incertitudes sur l'évaluation dosimétrique.

**Estelle DAVESNE**

Date de début :

09-2007

Laboratoire :

DRPH/SDI/LEDI

Tuteur :

Eric BLANCHARDON

Ecole doctorale :

Paris XI - Rayonnement et Environnement - ED421

Directeur de thèse :

François PAQUET

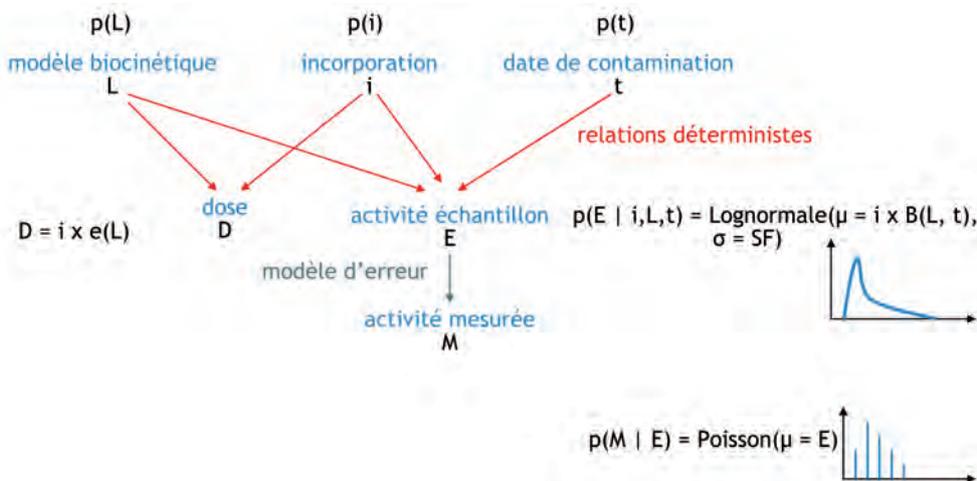
Financement :

Cofinancement AREVA NC

En vue d'optimiser la protection des travailleurs vis-à-vis des rayonnements ionisants, la réglementation française impose des limites de dose et une démarche de réduction progressive de l'exposition, dans la continuité des recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique. Afin de vérifier le respect des limites et contraintes de dose lorsqu'un risque de contamination interne existe, des programmes de surveillance sont mis en place par des mesures radiotoxicologiques périodiques. Cependant, des incertitudes dans l'interprétation dosimétrique de ces mesures sont introduites par leur variabilité propre et par la connaissance incomplète des conditions de contamination.

Ces incertitudes ont été prises en compte par des techniques statistiques classique et bayésienne. La méthodologie développée a été appliquée à l'analyse du programme de surveillance des travailleurs des ateliers de purification du plutonium du site AREVA NC de La Hague. Les différentes méthodes utilisées ont été comparées afin de permettre le choix de celle la mieux adaptée à l'étude à réaliser.

A partir du seuil de décision du comptage nucléaire, la dose minimale détectable (DMD) par le programme avec un niveau de confiance donné peut être calculée à l'aide du logiciel « Optimisation des Programmes de Surveillance de la Contamination Interne » (OPSCI). Les résultats obtenus ont permis d'asseoir la pertinence du programme de surveillance en place sur le site AREVA NC en évaluant la DMD pour ce programme et en la comparant avec celles obtenus par d'autres programmes envisageable. Ainsi, la DMD s'avère un support utile à l'optimisation des programmes de surveillance, en recherchant le meilleur compromis entre leur sensibilité et leur coût.



Le réseau bayésien développé dans le cadre de cette étude pour calculer la dose minimale détectable

LISTE NOMINATIVE DES DES PRÉSENTATIONS

Nom	Prénom	Unité ou organisme	Page
ABDERRAHMANI	Rym	DRPH / SRBE / LRTE	44
AFFES	Rafik	DPAM / SEMCA / LEC	114
AL SHAMA	Mohamad	DSR / SAMS / BAGCS	121
AL-KADDISSI	Simone	DEI / SECRE / LRE	81
ALLODJI	Rodrigue	DRPH / SRBE / LEPID	70
ALVES VALENTE	Marco Filipe	DRPH / SRBE / LDB	43
AUBERNON	Corentin	DSR / SAMS / BAGCS	49
AUGUSTINE	Starr	DEI / SECRE / LRE	82
BAALBAKI	Daoud	DPAM / SEMCA / LEMAR	72
BACHRATA	Andrea	DPAM / SEMCA / LESAM	115
BEN OUANAS	Abdelmonem	DEI / SARG / LR2S	108
BENSENOUCI	Fethi	DEI / SARG / LR2S	85
BERTHE	Guillaume	DEI / SARG / LR2S	98
BESSOUT	Raphaëlle	DRPH / SRBE / LRTE	67
BLIRANDO	Karl	DRPH / SRBE / LRTE	45
BONHOMME	Romain	DPAM / SEMIC / LIMSI	112
BOTTERO	Jean-Yves	CEREGE Aix	24
BRIFFAUT	Matthieu	DSR / SAMS / BAGCS	48
BROCHOT	Clothilde	DSU / SERAC / LPMA	58
BRUGIERE	Edouard	DSU / SERAC / LPMA	126
CALEC	Névénick	DEI / SECRE / LME	102
CANNEAUX	Sébastien	Université de Lille I	14
CESARD	Vincent	DSU / SERAC / LECEV	127
CHAHLAFI	Miloud	DPAM / SEMCA / LESAM	35
COLBERT	Mehdi	DPAM / SEMCA / LEC	111
COUDORO	Kodjo	DSR / SAGR / BPhAG	56
COURAGEOT	Estelle	DRPH / SDE / LDRI	40
DARDALHON	Fanny	DPAM / SEMIC / LIMSI	118
DAVESNE	Estelle	DRPH / SDI / LEDI	131
DE LARRARD	Thomas	DSU / SSIAD / BERIS	51

Nom	Prénom	Unité ou organisme	Page
DELICAT	Yathis Giovanni	DPAM / SERCI / L2EC	74
DEMARCO	Rodrigo	DPAM / SEMIC / LIMSI	117
DUFOUR	Nathalie	ENTPE Lyon	31
DUTILLEUL	Morgan	DEI / SECRE / LRE	103
ELBAST	Mouhamad	DRPH / SDI / LEDI	64
FARAH	Jad	DRPH / SDI / LEDI	63
FOISSAC	Arnaud	DSU / SERAC / LEMAC	59
FRASCA	Benjamin	DEI / SARG / LR2S	80
GANDOMZADEH	Ali	DEI / SARG / BERSSIN	30
GERARDIN	Jonathan	DPAM / SEMCA / LEMAR	110
GOLABECK	Cédric	DRPH/SDE/LMDN	41
GOUELLO	Mélany	DPAM / SERCI / L2EC	60
HADID	Lama	DRPH / SDI / LEDI	62
IDARRAGA	Isabel	DPAM / SERCI / L2EC	76
INTROÏNI	Clément	DPAM / SEMIC / LIMSI	90
JEAMBRUN	Marion	DEI / SESURE / LERCM	106
JINAPHANH	Alexis	DSU / SEC / LERD	124
KAMEL	Housna	DPAM / SERCI / LEF	54
KHERIJI	Walid	DPAM / SEMIC / LIMSI	73
KNOLL	Mickaël	DSR / SAGR / BPhAG	37
KREBS	Benoît	DPAM / SEMCA / LEC	93
LACAVE-LAPAULIN	Jean-Victor	DRPH / SRBE / LRTE	129
LACOUÉ-NEGRE	Marion	DPAM / SERCI / L2EC	88
LAHIDJI	Reza	DSDRE / CVI / _CVI	34
LAMIRAND	Vincent	DRPH / SDE / LMDN	65
LE ROUX	Nicolas	DSU / SERAC / LEMAC	57
LELONG	Franck	DPAM / SEMCA / LEMAR	36
LEMAIRE	Maurice	Institut français de mécanique avancé - Clermont	20
LEROY	Céline	DEI / SECRE / LRC-DEI	17
LESUEUR	Chloé	DEI / SARG / BERSSIN	79
LOFFREDO	Nicolas	DEI / SECRE / LRE	86
LUCIANI	Sébastien	DPAM / SERC I/ LEF	15
MAILLET	Anaïs	DEI / SARG / LR2S	107
MASSARIN	Sandrine	DEI / SECRE / LME	26

<b>Nom</b>	<b>Prénom</b>	<b>Unité ou organisme</b>	<b>Page</b>
METZ	Camille	DRPH / SRBE / LEPID	28
MINJEAUD	Sebastian	DPAM / SEMIC / LIMSI	92
MONOD	Raphaël	DPAM / SEMIC / LIMSI	119
MOTET	Gilles	INSA Toulouse - FONCSI	21
NASR	Ayoub	DPAM / SEMIC / LIMSI	55
NGUYEN	Tan-trung	DPAM / SEMIC / LIMSI	120
NGUYEN	The Dung	DSR / SAMS / BAGCS	50
NOSEL	Ingrid	DRPH / SRBE / LDB	130
OKAY	Gonca	DEI / SARG / LR2S	32
PANZA	Fabien	DEI / STEME / LMRE	99
PIGA	Damien	DEI / SESURE / LERCM	25
QUEREL	Arnaud	DSU / SERAC / LECEV	125
ROCHE	Vincent	DSU / SSIAD / BERIS	78
ROUAS	Caroline	DRPH / SRBE / LRTOX	42
ROUPSARD	Pierre	DEI / SECRE / LRC-DEI	104
ROUX	Céline	DEI / SARG / LR2S	100
SABARD	Jérémy	DSR / SAGR / BPhAG	122
SAYAH	Rima	DRPH / SDE / LDRI	128
SUCHET	Romain	DCOM	97
SYNHA EVE	Nicholas	DRPH / SRBE / LRTOX	69
TAILLIEZ	Antoine	DEI / SECRE / LRE	105
TOPIN	Vincent	DPAM/SEMCA/LEC	109
TREMOSA	Joachim	DEI / SARG / LR2S	84
VERGER	Pierre	Obersvatoire régional de santé PACA	27
VINDIMIAN	Eric	CEMAGREF Montpellier	22
VISENTINI	Roberta	DPAM / SEMCA / LEMAR	116
VREL	Anne	DEI / SECRE / LRC-DEI	101
VU	Xuan dung	DSR / SAMS / BAGCS	123
WEN	Shuang	DPAM / SEMCA / LEC	113
YON	Jérôme	Université de Rouen - CORIA	16
ZANELATO	Olivier	DPAM / SEMCA / LEC	91
ZHANG	Fan	DPAM / SEMIC / LETR	89
ZHANG	Shaoliang	DPAM / SEMIC / LETR	75

## LISTE DES PARTICIPANTS

Rym ABDERRAHMANI	IRSN/DRPH
Christelle ADAM	IRSN/DEI
Rafik AFFES	IRSN/DPAM
Mohamad AL SHAMA	RSN
Simone AL-KADISSI	IRSN/DEI
Ektimal AL-NEMRI	JNRC -Jordan Nuclear Regulatory Commission
Thierry ALBIOL	IRSN/DPAM
Rodrigue ALLODJI	IRSN/DRPH
Marco Filipe ALVES VALENTE	IRSN/DRPH
Alexandre ARMENGAUD	ATMO PACA
Laurent AUDOUIN	IRSN/DPAM
Starr AUGUSTINE	IRSN/DEI
Daoud BAALBAKI	IRSN/DPAM
Andrea BACHRATA	IRSN/DPAM
Michaël BADAWI	IRSN/DPAM
Gauzelin BARBIER	IRSN/DS
Jean-Claude BARESCUT	IRSN/DS
Geneviève BAUMONT	IRSN/DCOM
Fethi BENSENOUCI	IRSN/DEI
Ahmed BENTAIB	IRSN/DSR
Jean-Marc BERTHO	IRSN/DRPH
Denis BERTIN	Université de Provence Aix Marseille
Raphaëlle BESSOUT	IRSN/DRPH
Alain BIAU	IRSN/DS
Marie-Pierre BIGOT	IRSN/DCOM
Annick BILLEBAUD	CNRS-IN2P3 Grenoble
Karl BLIRANDO	IRSN/DRPH
Romain BONHOMME	IRSN/DPAM
Bernard BONIN	CEA Saclay
Jean-Michel BONNET	IRSN/DPAM
Jean-Yves BOTTERO	CEREGE Aix en Provence
Denis BOULAUD	IRSN/DEI
Patrick BOYER	IRSN/DEI
François BRECHIGNAC	IRSN/DS
Françoise BRETHEAU	IRSN/DS
Matthieu BRIFFAUT	IRSN/DSR
Clothilde BROCHOT	IRSN/DSU
David BROGGIO	IRSN/DRPH
Edouard BRUGIERE	IRSN/DSU
Jean-marc BULIT	IRSN/DSU
Vincent BUSSER	IRSN/DPAM
Agnes BUZYN	IRSN
Justo CABRERA	IRSN/DEI
Amélie CAILLAT	R&D EDF
Névénick CALEC	IRSN/DEI
Jean-Michel CANALES	IRSN/DS
Sébastien CANNEAUX	Université de Lille I
Laurent CANTREL	IRSN/DPAM

Vincent CESARD		IRSN/DSU
Miloud CHAHLAFI		IRSN/DPAM
Jean-luc CHAMBON		IRSN/DSR
Didier CHAMPION		IRSN/DEI
Nabiha CHAUMEIX		CNRS Orléans
Ahmad CHEIKH-ALI		IRSN/DAI
Mehdi COLBERT		IRSN/DPAM
Catherine COLIN	Institut de Mécanique des fluides de Toulouse	
Alexis COPPALLE		INSA Rouen
Frédéric COPPIN		IRSN/DEI
Kodjo COUDORO		IRSN/DSR
Vanessa COULET	Institut matériaux, microélectronique, nanosciences Provence	
Estelle COURAGEOT		IRSN/DRPH
Patrick COUSINOU		IRSN/DSU
Yves CREPY	Association française pour l'information scientifique	
Fanny DARDALHON		IRSN/DPAM
Inès DE LAGUERIE		R&D AREVA
Thomas DE LARRARD		IRSN/DSU
Yathis Giovanni DELICAT		IRSN/DPAM
Rodrigo DEMARCO		IRSN/DPAM
Aurélié DESBREE		IRSN/DRPH
Jean DESQUINES		IRSN/DPAM
Brigitte DUBOIS		IRSN/DS
Nathalie DUFOUR	ENTPE Vaulx en Velin	
Christian DURIEZ		IRSN/DPAM
Morgan DUTILLEUL		IRSN/DEI
Mouhamad ELBAST		IRSN/DRPH
Bernard ESTEVE	groupe TOTAL	
Jean-Michel EVRARD		IRSN/DS
Jad FARAH		IRSN/DRPH
François FEUILLEBOIS	ESPCI ParisTech	
Florian FICHOT		IRSN/DPAM
Arnaud FOISSAC		IRSN/DSU
Agnès FRANCOIS		IRSN/DRPH
Benjamin FRASCA		IRSN/DEI
Ali GANDOMZADEH		IRSN/DEI
Jacqueline GARNIER-LAPLACE		IRSN/DEI
Laurent GASNOT	Université de Lille I	
François GENSDARMES		IRSN/DSU
Jonathan GERARDIN		IRSN/DPAM
Rodolphe GILBIN		IRSN/DEI
Dominique GOBIN	Agence Nationale de la Recherche	
Cédric GOLABECK		IRSN/DRPH
Frédéric GOLDSCHMIDT		IRSN/DSDRE
Richard GONZALEZ		IRSN/DPAM
bernard GOUDAL		IRSN/DPAM
Mélany GOUELLO		IRSN/DPAM
Patrick GOURMELON		IRSN/DRPH
Anne-Cécile GREGOIRE		IRSN/DPAM
Vincent GRESSIER		IRSN/DRPH
Sylvie GRILLERES		
Yann GUEGUEN		IRSN/DRPH
Rodolfo GURRIARAN		IRSN/DEI
Georges HACHE		IRSN/DS

Lama HADID	IRSN/DRPH
Pascale HENNER	IRSN/DEI
François HIRSCH	Alliance nationale des sciences de la vie et de la santé
Christelle HUET	IRSN/DRPH
Isabel IDARRAGA	IRSN/DPAM
Clément INTROÏNI	IRSN/DPAM
Didier JACQUEMAIN	IRSN/DS
Marion JEAMBRUN	IRSN/DEI
Alexis JINAPHANH	IRSN/DSU
Housna KAMEL	IRSN/DPAM
Walid KHERIJI	IRSN/DPAM
Martin KISSANE	IRSN/DPAM
Mickaël KNOLL	IRSN/DSR
Benoît KREBS	IRSN/DPAM
Christian LA BORDERIE	Université de Pau
Jean-Claude LABORDE	IRSN/DSU
Jean-victor LACAVE-LAPAULIN	IRSN/DRPH
Marion LACOUE-NEGRE	IRSN/DPAM
Patrick LALOI	IRSN/DRPH
Vincent LAMIRAND	IRSN/DRPH
Raphaël LAMURE	IRSN/DSPSI
Dominique LAURIER	IRSN/DRPH
Claire LAWRENCE	Université de Pau
Nicolas LE ROUX	IRSN/DSU
Franck LELONG	IRSN/DPAM
Maurice LEMAIRE	Institut français de mécanique avancée, Clermont
Céline LEROY	IRSN/DEI
Philippe LESTALEVEL	IRSN/DRPH
Chloé LESUEUR	IRSN/DEI
Eric LIATARD	LPSC Grenoble
Christine LINARD	IRSN/DRPH
Nicolas LOFFREDO	IRSN/DEI
Jean-Marc LOSDAT	Bertin Technologies
Sébastien LUCIANI	IRSN/DPAM
Anaïs MAILLET	IRSN/DEI
Alain MAILLIAT	Ecole Centrale de Marseille
Jeanne MALET	IRSN/DSU
Michael MAQUA	GRS Garching
Nuno José MARCELLINO	IRSN/DS
Olivier MARCHAND	IRSN/DPAM
Denis MARO	IRSN/DEI
Arnaud MARTIN-GARIN	IRSN/DEI
Sandrine MASSARIN	IRSN/DEI
Olivier MASSON	IRSN/DEI
Jean Michel MATRAY	IRSN/DEI
Philippe MAUGIS	Institut matériaux, microélectronique, nanosciences Provence
Stéphane MELIS	IRSN/DPAM
Catherine MERCAT-ROMMENS	AREVA Tricastin
Camille METZ	IRSN/DRPH
Nicolas MEYNET	IRSN/DSR
Jean-Claude MICAELLI	IRSN/DPAM
Nathalie MICHIELSEN	IRSN/DSU
Fabien MILLIAT	IRSN/DRPH
Sebastian MINJEAUD	IRSN/DPAM

Emilie MINSEROUX	IRSN/DS
Joachim MISS	IRSN/DSU
Patrick MOMAL	IRSN/DSDRE
Yann MONERIE	IRSN/DPAM
Raphaël MONOD	IRSN/DPAM
Gilles MOTET	INSA Toulouse FonCSI
Hervé MUTELLE	IRSN/DPAM
Georges NAHAS	IRSN/DSR
Ayoub NASR	IRSN/DPAM
The Dung NGUYEN	IRSN/DSR
Tan-trung NGUYEN	IRSN/DPAM
Yacine NIA	Université de Marseille - EDF R&G
Grégory NICAISE	IRSN/DSR
Jean-Claude NOACK	Bertin Technologies
Ingrid NOSEL	IRSN/DRPH
Gonca OKAY	IRSN/DEI
FRANCOIS XAVIER OUF	IRSN/DSU
Benjamin OURSEL	USTV - Laboratoire PROTEE
Fabien PANZA	IRSN/DEI
François PAQUET	IRSN/DS
Laurence PASCAL-BENSA	Institut de veille sanitaire région PACA
Jean-luc PASQUIER	IRSN
Frédéric PERALES	IRSN/DPAM
Bruno PIAR	IRSN/DPAM
Damien PIGA	IRSN/DEI
Helmut PITSCHE	IRSN/DS
Laurent POURCELOT	IRSN/DEI
Hugues PRETREL	IRSN/DPAM
Corinne PREVOST	IRSN/DSU
Laurent PRINCIVALLE	Arts&Métiers ParisTech
Arnaud QUEREL	IRSN/DSU
Michel QUINTARD	IMFT Toulouse
Francois REBIERE	IRSN/DRPH
Jacques REPUSSARD	IRSN
Fabienne RIBEIRO	IRSN/DPAM
Laurent RICCIARDI	IRSN/DSU
Vincent ROCHE	IRSN/DSU
Muriel ROCHER	IRSN/DSU
Caroline ROUAS	IRSN/DRPH
Pierre ROUPSARD	IRSN/DEI
Céline ROUX	IRSN/DEI
Pierre RUYER	IRSN/DPAM
Jérémy SABARD	IRSN/DSR
Jean-Christophe SABROUX	IRSN/DSU
Rima SAYAH	IRSN/DRPH
Michel SCHWARZ	IRSN/DS
Oona SCOTTI	IRSN/DEI
Nathalie SEILER	IRSN/DPAM
Christophe SERRES	IRSN/DSU
Olivier SIMON	IRSN/DEI
Marie SIMON-CORNU	IRSN/DEI
Caroline SIMONUCCI	IRSN/DEI
Sandrine SOARES	IRSN/DSU
Sophie SOBANSKA	Université de Lille I

Irène SOROKINE-DURM - IRSN/DS	
Romain SUCHET	IRSN/DCOM
Nicholas SYNHAEVE	IRSN/DRPH
Antoine TAILLIEZ	IRSN/DEI
Christian TAMPONNET	IRSN/DS
Erwan TESSIER - USTV	Laboratoire PROTEE
Dominique THIERRY	IRSN/DS
Robert THOMAZEAU	ENTPE Vaulx en Velin
Patsy-Ann THOMPSON	Canadian Nuclear Safety Commission
Margot TIRMARCHE	IRSN/DS
Vincent TOPIN	IRSN/DPAM
Joachim TREMOSA	IRSN/DEI
Olivier VAUQUELIN	Université de la Méditerranée - Marseille
Alain VAVASSEUR	CEA Cadarache
Jacques VENDEL	IRSN/DSU
Julia VERGALLI	Institut matériaux, microélectronique, nanosciences Provence
Pierre VERGER	Obersvatoire régional de santé PACA
Jean-Pierre VIDAL	IRSN/DS
Eric VINDIMIAN	CEMAGREF Montpellier
Roberta VISENTINI	IRSN/DPAM
Anne VREL	IRSN/DEI
Xuan dung VU	IRSN/DSR
Shuang WEN	IRSN/DPAM
Charles WITTEBROODT	IRSN/DEI
George YADIGAROGLU	Ecole Polytechnique Federale de Zurich
Jérôme YON	Université de Rouen (CORIA)
Olivier ZANELLATO	IRSN/DPAM
Fan ZHANG	IRSN/DPAM
Shaoliang ZHANG	IRSN/DPAM
Raja ZMEMLA	CEREGE Aix

Merci  
aux auteurs des résumés et de surcroît orateurs,  
à G. Goué (CRIS) pour la réalisation du livret,  
à Brigitte Dubois logisticienne de ces journées des thèses,  
à tous les participants.