

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

DU 14 AU 17 OCTOBRE

Journées des thèses 2013

PRESQU'ÎLE DE GIENS



Direction de la stratégie, du développement et des partenariats

Journées thèses 2013

Presqu'île de Giens

14 OCTOBRE - 17 OCTOBRE

PROGRAMME

Lundi 14 octobre

16h30 : ACCUEIL ET INTRODUCTION

Jacques REPUSSARD (Directeur général de l'IRSN),
Discours d'ouverture des Journées thèses.

Jean Paul MOATI (ITMO ISP, Université de Marseille),
Les Priorités de Recherche en Santé Publique.

17H30 : SESSION RADIOPROTECTION - DOSIMETRIE

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

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

Alexandra MOIGNIER (doctorante IRSN), Dosimétrie cardiaque à l'aide de fantômes numériques hybrides dans le cadre de traitements par radiothérapie.

18h45 : Apéritif

20h00 : Dîner

Mardi 15 octobre

8H20 : SESSION SÛRETÉ

Jean-Christophe SABROUX (IRSN), Le rôle de l'expert : de la recherche à la décision : exemple du risque hydrogène.

Miguel MUNOZ (post-doctorant IRSN) : Extension de la méthodologie d'optimisation des paramètres pénalisants aux problématiques émergentes en sûreté-sécurité.

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

9H40 : SESSION POSTER

10H40 : SESSION RADIOECOLOGIE

Jacqueline Garnier LAPLACE (IRSN), Panorama des recherches européennes en radioécologie.

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

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

Adrien MARGERIT (doctorant IRSN), Utilisation et Développement d'outils prédictifs pour l'évaluation des risques écotoxiques des radionucléides dans un contexte de multi-contamination.

12h30 : déjeuner

13H50 : SESSION RADIOTOXICOLOGIE

Frédéric TOROSSIAN (post-doctorant IRSN), Développement d'un modèle de niche hématopoïétique en 3D : un outil technologique pour l'acquisition de nouvelles connaissances scientifiques sur l'aplasie radio-induite.

Clelia LE GALLIC (doctorante IRSN), Influence d'une contamination chronique par ingestion de césium 137 sur la progression de la pathologie athéromateuse.

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

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

15H25 : SESSION POSTER

16H15 : SESSION RADIOPROTECTION - METROLOGIE

Conférence invitée

José BUSTO (CCP Marseille), ANTARES : le télescope sous la mer capte la lumière des abysses.

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

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

Julien TAFOREAU (doctorant IRSN), Développement d'un spectromètre neutrons de haute résolution, utilisant des capteurs CMOS, dédié à des mesures de référence auprès des installations du LMDN : TPR-CMOS.

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

19h00 : Dîner

20h20 : Formation par la recherche (présentations, débat)

Mercredi 16 octobre

8H20 : SESSION SÛRETÉ- NANOPARICULES

Conférence invitée

Nicolas RIMBERT (LEMTA, Université de Nancy), Modélisation de la coagulation, du transport et de la déposition d'un aérosol de nanoparticules en vue de l'évaluation du risque d'exposition.

Pierre MARCHAL (doctorant IRSN), Caractérisation et impact des particules incandescentes dans les réseaux de ventilation.

Zakaria MANA (doctorant IRSN), Étude de la suspension de particules à l'intérieur d'un local sous l'effet de la marche d'un opérateur.

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

10H00 : SESSION POSTER

11H00 : SESSION RADIOBIOLOGIE (SESSION PARALLÈLE)

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

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

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

11H00 : SESSION SÛRETÉ (SESSION PARALLÈLE)

Léticia BUSLIG (doctorante IRSN), Méthodes stochastiques de modélisation de données : application à la reconstruction de données non régulières

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

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

Ghislain FERRAN (doctorant IRSN), Méthodes avancées pour le traitement des données nucléaires

12h40 : Déjeuner

14H00 : SESSION SÛRETÉ - CONFINEMENT

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

Loic COQUELIN (doctorant IRSN), Contribution aux traitements des incertitudes : application à la métrologie des nanoparticules sous forme d'aérosols

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

Simon DELCOUR (doctorant IRSN), Etude des mécanismes physico-chimiques de mise en suspension de contaminants particuliers lors de la dégradation thermique de matériaux représentatifs des installations nucléaires.

15H40 : SESSION ECOTOXICOLOGIE (SESSION PARALLÈLE)

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

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

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

15H40 : SESSION SÛRETÉ - ACCIDENTS GRAVES (SESSION PARALLÈLE)

Adrien CARTONNET (doctorant IRSN), Modélisation des rejets à l'environnement en cas de RTGV

Romain VANDEPUTTE (doctorant IRSN), Étude théorique du rôle du bore sur le comportement de l'iode dans le circuit primaire d'un réacteur

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

Paul SAPIN (doctorant IRSN), Étude de l'ébullition en masse sur milieu poreux modèle

17h20 : pause

18H00 : SESSION GÉOSPHERE

Camille CHAUTARD (doctorante IRSN), Bioréactivité fer-argile en condition de stockage

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

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

19h20 : pause

20h00 : diner gourmand

21h30 : soirée festive AD'iN

Jeudi 17 octobre

9H00 : SESSION RADIOECOLOGIE

Conférence invitée

Isabelle TAUPIER LETAGE (Mediterranean Institute of Oceanography), Circulation des masses d'eau en méditerranée

Guillaume DEPUYDT (doctorant IRSN), Étude expérimentale in situ de l'efficacité de rabattement des aérosols par les pluies

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

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

Assia BOUAROURI (doctorante IRSN), Développement d'un système de mesure à 10 Hz de concentration d'aérosol atmosphérique.

11h10 : pause

11H40 : SESSION SÛRETÉ - MATERIAUX

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

Alice DUFRESNE (doctorante IRSN), Étude de la précipitation des hydrures dans les gainages par des approches atomistiques

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

12h50 : clôture des Journées thèses - Véronique ROUYER

13h10 : déjeuner

Sessions posters

doctorants de 1^{ère} année

Sessions le mardi (9h40 et 15h25) et mercredi (10h00)

Pôle sûreté : incendie, confinement, génie civil, méthodes, combustible, vieillissement des matériaux, facteurs humains (résumés p. 103 et suivantes)

Lhassan AMARSID, Fragmentation et écoulement des agrégats poreux

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

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

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

Sebastian CASTRILLON ESCOBAR, Instabilités et dispersion des jets de corium liquides : analyse des processus physiques et modélisation dans le logiciel mc3d

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

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

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

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

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

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

Hassan MAATOUK (EMSE), Spectram methods and non stationary kernels in computer experiments

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

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

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

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

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

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

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

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

Pôle radioprotection : transfert et dispersion de radionucléides, sismologie, métrologie, radiotoxicologie, radiobiologie, épidémiologie

résumés p. 131 et suivantes

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

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

Ikram FATNASSI, Diffusion de radionucléides en conditions physico-chimiques hors équilibre au travers de roches argileuses indurées : expérimentation versus simulation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Lundi 14 octobre
16h30-18h45

Salle Almanarre

ACCUEIL ET INTRODUCTION

Jacques REPUSSARD (Directeur général de l'IRSN)
Discours d'ouverture des Journées thèses.

Jean Paul MOATTI (Directeur de l'ITMO Santé publique, Professeur d'économie à
l'Université de Marseille)
Les Priorités de Recherche en Santé Publique.

SESSION RADIOPROTECTION - DOSIMETRIE

Méthodes et outils d'évaluation des expositions et des risques

Président : Patrick LALOI (IRSN)

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

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

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

Sujet de la thèse :

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

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

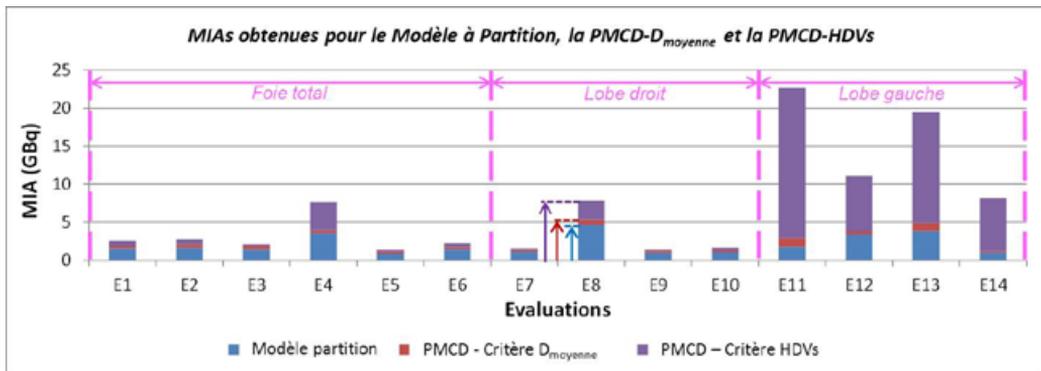
En médecine nucléaire thérapeutique, l'injection du radiopharmaceutique a pour but l'éradication des cellules cancéreuses. L'activité injectée étant élevée, une dosimétrie précise et personnalisée doit être réalisée afin de garantir que les doses absorbées reçues par les organes sains n'entraînent pas d'effets secondaires importants. Le logiciel OEDIPE, développé au laboratoire, permet, d'une part, de réaliser cette dosimétrie grâce à l'association de fantômes voxelisés modélisant le corps humain, de matrices tridimensionnelles décrivant la distribution spatiale de l'activité et du code de calcul Monte-Carlo MCNPX et, d'autre part, d'en déduire l'activité maximale injectable au patient tout en respectant les critères de tolérance aux organes à risque (OARs).

La SIRT consiste en l'injection de microsphères chargées à l'Yttrium-90 pour le traitement de cancers hépatiques. Actuellement, la planification du traitement s'effectue à partir d'une imagerie 3D réalisée après l'injection de ^{99m}Tc -MAA et repose sur le modèle à partition qui ne tient pas compte de l'hétérogénéité de répartition de l'activité.

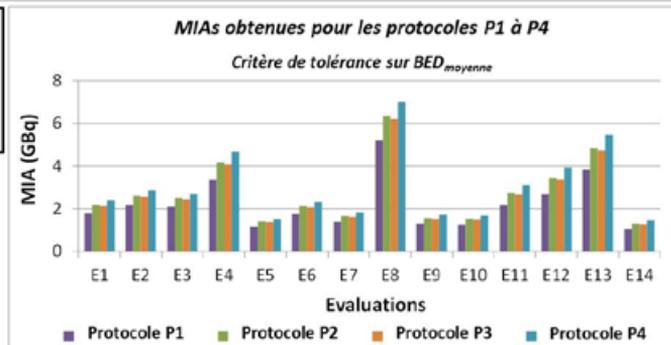
Dans ce contexte, une dosimétrie 3D personnalisée a été développée en collaboration avec l'Hôpital Européen Georges Pompidou (HEGP) et appliquée rétrospectivement à quatorze cas cliniques. Tout d'abord, les doses absorbées moyennes aux organes, les courbes isodoses et les histogrammes dose-volume ont été obtenus pour chaque patient avant d'être utilisés pour déterminer l'activité maximale injectable (MIA) garantissant le respect des critères de tolérance aux OARs.

L'ajout d'un module « Radiobiologie » dans le logiciel OEDIPE a ensuite permis de calculer la distribution de la Dose Biologique Efficace (BED), qui permet de rendre compte des effets biologiques et de l'hétérogénéité du débit de dose, ainsi que les BED moyennes aux organes, les courbes iso-BED et les histogrammes BED-Volume. La MIA a alors été calculée à partir de la distribution de la BED pour des protocoles multi-injections.

Un travail d'amélioration de l'imagerie 3D de l'yttrium-90 est en cours pour permettre la réalisation d'une dosimétrie post-traitement. Celle-ci permettra de comparer les distributions des ^{99m}Tc -MAA et des microsphères afin de valider le caractère prédictif des ^{99m}Tc -MAA. Enfin, une personnalisation plus poussée de la dosimétrie 3D sera entreprise, pour d'autres thérapies, par la prise en compte de la biocinétique spécifique au patient.



- Protocole P1:** Injection unique
- Protocole P2:** 2 injections (1/2;1/2)
- Protocole P3:** 2 injections (2/3;1/3)
- Protocole P4:** 3 injections (1/3;1/3;1/3)



En haut : Activités maximales injectables pour les quatorze cas étudiés (E1 à E14), déterminées à l'aide du modèle à partition, de la dosimétrie 3D personnalisée (PMCD) avec critère de tolérance sur les doses moyennes (Critère $D_{moyenne}$: $D_{moy,Foie\ sain} < 30\ Gy$ et $D_{moy,poumons} < 30\ Gy$) et de la dosimétrie 3D personnalisée avec critère de tolérance sur les histogrammes dose-volume (Critère HDVs : $V_{30Gy} < 50\%$ pour le foie sain et $V_{20Gy} < 35\%$ pour les poumons).

En bas : Activités maximales injectables pour les quatorze cas étudiés (E1 à E14), déterminées à partir de la distribution de la Dose Biologique Efficace pour différents protocoles d'injection.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Cyril MOIGNIER
Date du début de la thèse :	03/10/2011
Laboratoire :	PRP-HOM/SDE/LDRI
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Libor MAKOVICKA (Université de Franche Comté)
Tuteur de thèse :	Christelle HUET
École doctorale :	Paris Sud 11 - MIPEGE

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

Le premier axe consiste à caractériser et développer des techniques afin de déterminer au mieux les données dosimétriques de base dans les mini-faisceaux. Pour cela deux appareils délivrant des mini-faisceaux (CyberKnife® 800UM/min et 1000UM/min) ont été modélisés à l'aide du code de calcul Monte Carlo PENELOPE (figure 1). Des techniques de réduction de variance spécifiques et une pseudo-parallélisation ont été implémentées. Le modèle a été ajusté à l'aide de mesures. Différents détecteurs du commerce utilisés pour la mesure des données de base ont également été modélisés. Des données de base, en particulier les Facteurs d'Ouverture du Collimateur (FOC), ont été calculées pour plusieurs tailles de champs et comparées aux valeurs mesurées. Il en ressort que les micro-dosimètres thermoluminescents de fluorure de lithium ainsi que les films radiochromiques sont particulièrement performants pour ce type de mesure. Des facteurs correctifs ont été déterminés pour les détecteurs. Enfin, afin de mieux comprendre les phénomènes physiques propres aux mini-faisceaux et les variations de réponse des détecteurs, les effets volume, enrobage, composition et densité du volume de détection ont été étudiés.

Le second axe consiste à évaluer, à l'aide d'une approche expérimentale, les écarts entre la dose calculée par les systèmes de planification de traitement (TPS) utilisés en radiothérapie stéréotaxique et la dose réellement délivrée. Pour cela, un protocole de mesure des distributions de dose à l'aide de films radiochromiques a été développé en caractérisant les films et le scanner servant à leur numérisation. L'incertitude associée à la mesure de la dose a été évaluée de façon fine en étudiant chaque paramètre d'influence. De plus, différentes méthodes d'analyse ont été développées sous Matlab et comparées entre elles.

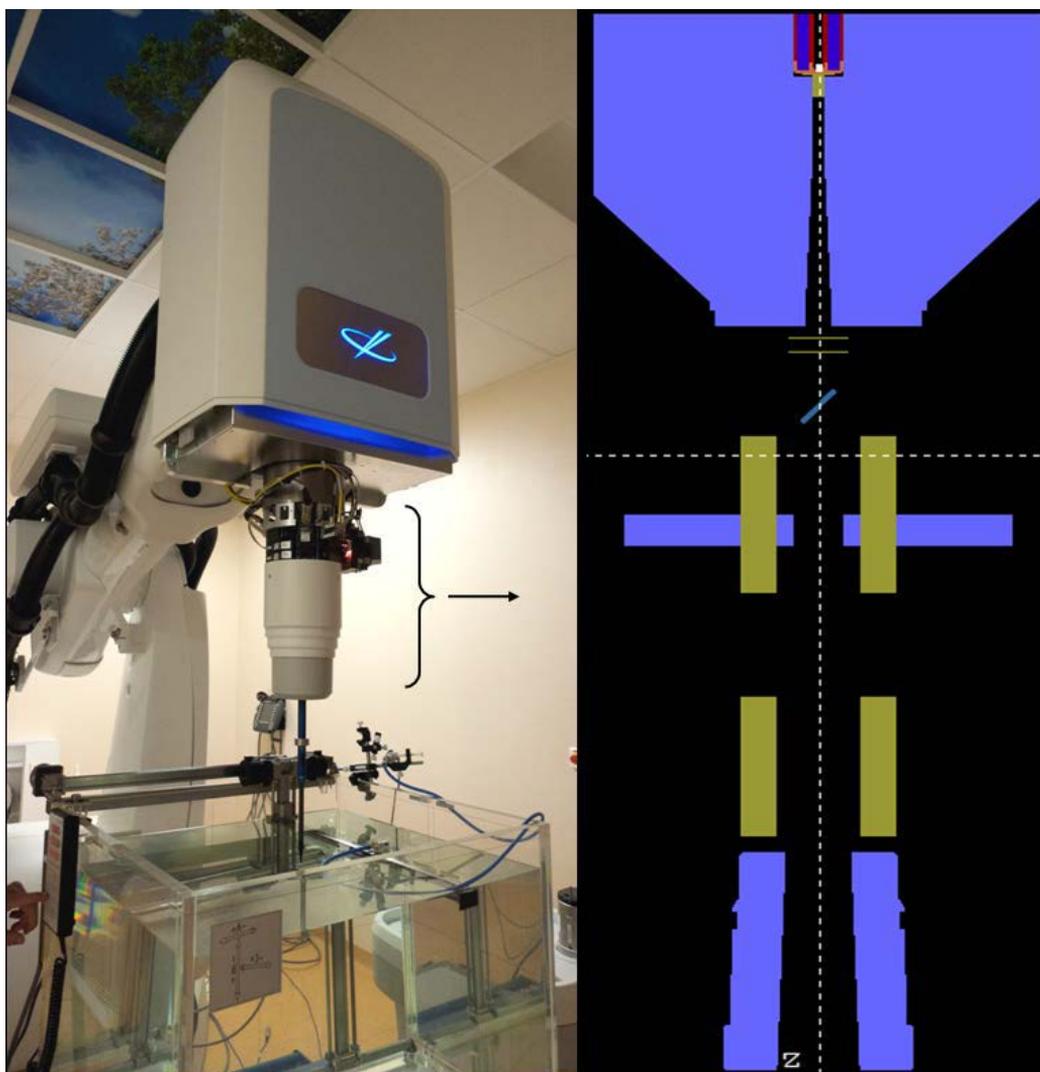


Figure 1 : Photographie du CyberKnife® (à gauche) et modélisation de la tête du CyberKnife® (à droite).

Sujet de la thèse :

Dosimétrie cardiovasculaire à l'aide de fantômes numériques hybrides suite à une radiothérapie.

Doctorant :	Alexandra MOIGNIER
Date du début de la thèse :	03/10/2011
Laboratoire :	PRP-HOM/SDI/LEDI
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Bernard AUBERT - IRSN/PRP-HOM/SER/UEM
Tuteur de thèse :	David BROGGIO (PRP-HOM/SDI/LEDI) et Sylvie DERREUMAUX (PRP-HOM/SER/UEM)
École doctorale :	Université Paris-Sud XI - École doctorale MIPEGE (ED 534)

De nombreuses études épidémiologiques ont mis en évidence la cardiotoxicité de certaines radiothérapies. Les sténoses sur les coronaires font partie des atteintes cardiovasculaires les plus graves. L'objectif de cette thèse est donc de préciser la dosimétrie cardiovasculaire pour des radiothérapies du sein gauche et du lymphome de Hodgkin en utilisant les fantômes numériques hybrides.

A défaut de visualiser les coronaires sur les images scanner servant à la planification de traitement, certains hôpitaux les localisent par a priori anatomique. Une imagerie des coronaires serait-elle justifiée pour préciser la dosimétrie cardiovasculaire ? Pour répondre à cette question, différentes topologies de coronaires basées sur des coroscanners ont été modélisées dans un thorax féminin représentatif. Deux radiothérapies du sein gauche ont été simulées : le premier traite la glande mammaire et le lit tumoral (TG_LitT) ; le second traite également la chaîne mammaire interne (TG_LitT_CMI). Dans notre étude, la variabilité de la topologie de l'artère inter-ventriculaire antérieure induit une dispersion de la dose moyenne et de la dose minimale reçue par 2% du volume de respectivement 19% et 49% pour TG_LitT, et respectivement 35% et 76% pour TG_LitT_CMI. Les doses maximales sont comprises entre 5,2 Gy et 26,1 Gy avec TG_LitT et entre 20 Gy et 30 Gy avec TG_LitT_CMI. La cartographie 3D de la dose aux coronaires révèle que la localisation et le niveau de dose des points chauds dépendent de la balistique et de la topologie des coronaires. Des études de sensibilité de la dose cardiovasculaire à d'autres paramètres (morphologie cardiovasculaire, morphologie thoracique, positionnement des faisceaux, etc) vont se poursuivre.

En collaboration avec l'Institut Gustave Roussy, des modèles de patients combinant leur imagerie thoracique acquise au moment de leur radiothérapie du lymphome de Hodgkin et leur imagerie cardiovasculaire acquise lors de leur suivi post-traitement ont été créés. Les dosimétries cardiovasculaires de patients présentant des sténoses coronariennes seront comparées à celles de patients témoins. Les premiers résultats montrent des doses entre 29 Gy et 40 Gy au niveau des sténoses. Avec ces dosimétries cardiovasculaires entièrement personnalisées, nous espérons ainsi apporter quelques éléments pour l'étude de la relation dose-effet.

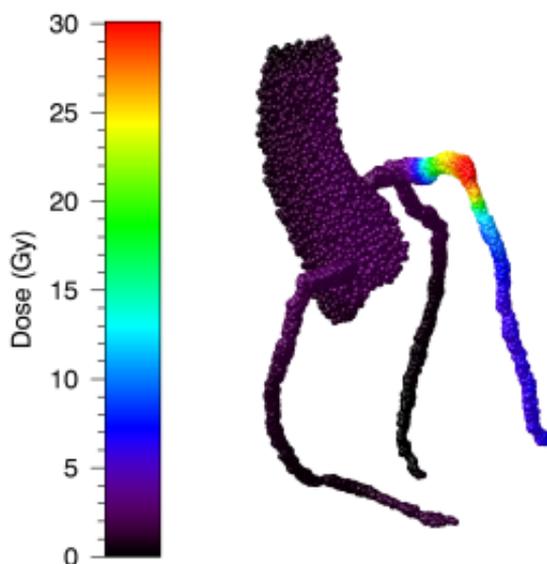
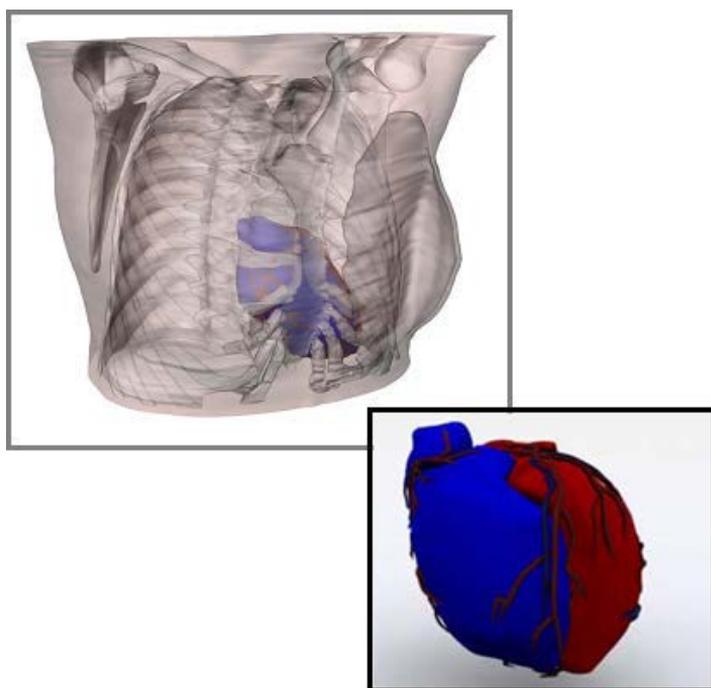


Figure : A gauche, exemple de fantôme numérique hybride avec un modèle de cœur générique. A droite, un exemple de cartographie de dose sur l'aorte et les principales artères coronaires suite à une radiothérapie du sein gauche, avec localisation du point chaud.

Mardi 15 octobre
8h20- 9h40

Session sûreté nucléaire

Rôle de l'expert
Neutronique - Agressions internes et industrielles

Salle Almanarre

Président de session : Jean Michel EVRARD

Jean-Christophe SABROUX, Le rôle de l'expert : de la recherche à la décision : exemple du risque hydrogène.

Miguel MUNOZ, Extension de la méthodologie d'optimisation des paramètres pénalisants aux problématiques émergentes en sûreté-sécurité.

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

Sujet du post-doctorat :

Extension de la méthodologie d'optimisation des paramètres pénalisants aux problématiques émergentes en sûreté-criticité.

Post-doctorant :
Date de début :
Laboratoire :

Miguel MUNOZ
Mai 2012
PSN-EXP/SNC/LERD

Tuteur :

Yann RICHET

Le but de ce projet est de transposer (et d'améliorer en conséquence) la démarche d'optimisation globale dans des applications de criticité dites « émergentes », c'est à dire ne faisant pas - pour l'instant - l'objet quotidien d'expertises de criticité par le bureau en charge de ces travaux (Bureau d'Evaluation des Risques de criticité et des Accidents de Criticité, BERAC). Plusieurs de ces problématiques sont d'ores et déjà identifiées pour constituer des thématiques concrètes du post-doctorat :

- identification des profils de combustion pénalisants dans une configuration de stockage ou de transport d'assemblages irradiés,
- modélisation et recherche de gradients de concentration pénalisants dans les matériaux fissiles non solides
- optimisation d'une configuration expérimentale relativement à une base de configurations industrielles cibles.

Ces trois applications prospectives sont de nature hétérogènes d'un point de vue neutronique, mais convergent sur des problématiques communes telles que la modélisation d'entrées ou de sorties dites « fonctionnelles », par opposition aux entrées scalaires actuellement utilisées dans les expertises de criticité. Plus généralement, un facteur favorable dans la phase précédente de mise en oeuvre des méthodologies de planifications expérimentales tenait dans la monodimensionnalité des paramètres de criticité considérés (par opposition par exemple au profils de combustion (« burnup ») ou aux gradients de concentration), et à la monodimensionnalité de la sortie du code considéré: le k-effectif (grandeur intégrale caractérisant le risque de criticité d'un système de matières fissiles complet).

L'objectif générique de ce post-doctorat est donc d'étudier le comportement de la méthodologie actuellement utilisée au delà de ses limites de conception initiales, puis d'apporter les outils scientifiques complémentaires permettant une application dans les thématiques émergentes pour la criticité d'aujourd'hui, c'est à dire les cas d'applications opérationnelles de demain.

Sujet de la thèse :

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

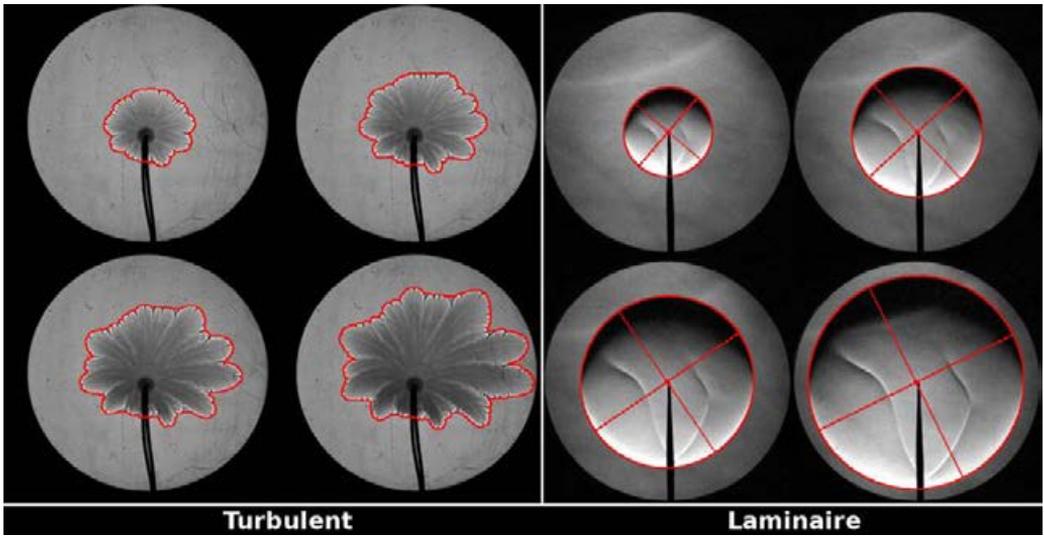
Doctorant :	Jules GOULIER
Date du début de la thèse :	01/10/2011
Laboratoire :	IRSN/PSN-RES/SAG/BPhAG
Financement de thèse :	IRSN CNRS
Directeur de thèse :	Nabiha Chaumeix - CNRS
Tuteur de thèse :	Nicolas Meynet
École doctorale :	Université Orléans

Dans le cadre de l'étude des accidents graves dans un réacteur à eau pressurisée, le risque hydrogène est défini comme la possibilité d'une perte de l'étanchéité ou de l'intégrité du confinement du réacteur suite à une combustion d'hydrogène. Lors de la phase de dégradation du cœur, l'hydrogène est principalement issu de l'oxydation du zirconium présent dans les gaines entourant le combustible et de l'oxydation des métaux présents dans le bain de corium. L'évaluation du risque d'explosion d'hydrogène a fait l'objet de nombreux travaux de recherche, notamment sur la phénoménologie de la combustion.

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

Les travaux de thèse s'appuient sur trois installations : une bombe sphérique à inflammation centrale, SF2, une nouvelle bombe sphérique, SF3, et une enceinte verticale encombrée d'obstacles, Enaccef. La première installation a servi à l'optimisation de la procédure de traitement d'images, étape fondamentale pour l'étude des vitesses de flammes dans une bombe sphérique. La seconde installation consiste en une bombe sphérique de taille supérieure et permettant de contrôler l'intensité de turbulence. Celle-ci doit être utilisée pour caractériser la propagation des flammes accélérées, avec notamment les conditions de formation des cellularités et leur impact sur l'accélération de la flamme, ainsi que l'impact de l'ajout de diluants. Une fois ces données acquises, il s'agit d'établir une corrélation déterminant la vitesse de propagation de flammes des mélanges H₂/air/diluants pour différentes intensités de turbulence incluant les régimes d'extinction de flammes. L'installation Enaccef, générant une turbulence non-contrôlée, sera utilisée pour produire des essais permettant de valider la corrélation développée sur la bombe sphérique SF3.

Au cours des deux premières années de thèse, une attention particulière a été portée à l'amélioration de la détection des fronts de flammes turbulentes et laminaires, à l'extraction des vitesses de flammes, ainsi qu'à la conception du dispositif expérimental permettant une turbulence contrôlée. Ces travaux seront présentés au cours des journées des thèses de l'IRSN.



Détection du contour d'une flamme hydrogène dans le cas d'une combustion turbulente et d'une combustion laminaire

**Mardi 15 octobre
10h40- 12h30**

Session radioécologie

Effets des faibles doses de rayonnements ionisants en situation chronique

Salle Almanarre

Président de session : Patrick LALOI

Jacqueline GARNIER-LAPLACE - Star, Comet et l'Alliance : un trio structurant pour l'intégration de la recherche européenne en Radioécologie

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

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

Adrien MARGERIT - Utilisation et Développement d'outils prédictifs pour l'évaluation des risques écotoxiques des radionucléides dans un contexte de multi-contamination.

Sujet de la thèse :

Études des effets chroniques des rayonnements ionisants chez un organisme modèle : *Caenorhabditis elegans*, du moléculaire à la dynamique des populations.

Doctorant :	Adeline BUISSET-GOUSSEN
Date du début de la thèse :	02/11/2011
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/LECO
Financement de thèse :	région PACA
Directeur de thèse :	J-C Poggiale (COM)
Tuteur de thèse :	Catherine Lecomte-Pradines
École doctorale :	AMU - Sciences de l'environnement - ED 251

L'évaluation de l'impact écologique d'une exposition aux rayonnements ionisants (phénomène naturel et ubiquiste enrichi par les activités humaines) est devenue une préoccupation majeure. Il existe à ce jour peu d'études relatives aux expositions chroniques sur plusieurs générations, indispensables pour mieux comprendre les perturbations liées aux rayonnements ionisants et leurs conséquences possibles sur la population.

Le nématode *Caenorhabditis elegans*, est un organisme ubiquiste naturellement présent dans le sol. Son cycle de vie court (3 jours), son taux de reproduction élevé, facilitent sa culture en laboratoire et en font un organisme modèle pour les études en exposition chronique. De plus, son génome est entièrement séquencé et les outils génétiques disponibles en font un excellent modèle pour étudier les mécanismes cellulaires et moléculaires intervenant lors d'une exposition à une pollution.

Les objectifs de la thèse sont donc : (i) d'étudier l'impact d'une exposition multigénérationnelle aux rayonnements ionisants sur la croissance et la reproduction de *Caenorhabditis elegans*, (ii) de caractériser les processus moléculaires et cellulaires pouvant expliquer les effets obtenus sur la croissance et la reproduction, (iii) de relier les effets observés aux différents niveaux biologiques à l'aide d'un modèle mathématique.

Les premiers résultats ont été obtenus après exposition de 3 générations successives (F0, F1, F2) de *C. elegans* à une irradiation externe gamma (source ¹³⁷Cs, débits de dose compris entre 5.7 et 47.4 mGy/h). Parallèlement deux générations (F1', F2') ont été replacées en condition contrôle après exposition parentale (F0). Les résultats de cette expérience ont montré : (i) que la génération F2 pond significativement moins que la génération F0 à la plus forte dose, (ii) que la génération F1' pond significativement moins que la génération F1 aux doses 5.7, 7.4, 19.6 et 29.5 mGy/h, (iii) qu'il n'y a pas de différence entre les générations sur les paramètres de croissance

Cette expérience a montré que la ponte était le critère d'effet le plus sensible et que de surcroît, une acclimatation est observée à la deuxième génération. Des études réalisées à l'échelle moléculaire (expression de gènes cibles) permettront d'apporter des précisions sur les mécanismes sub-cellulaires mis en jeu lors d'une exposition chronique aux rayonnements ionisants.

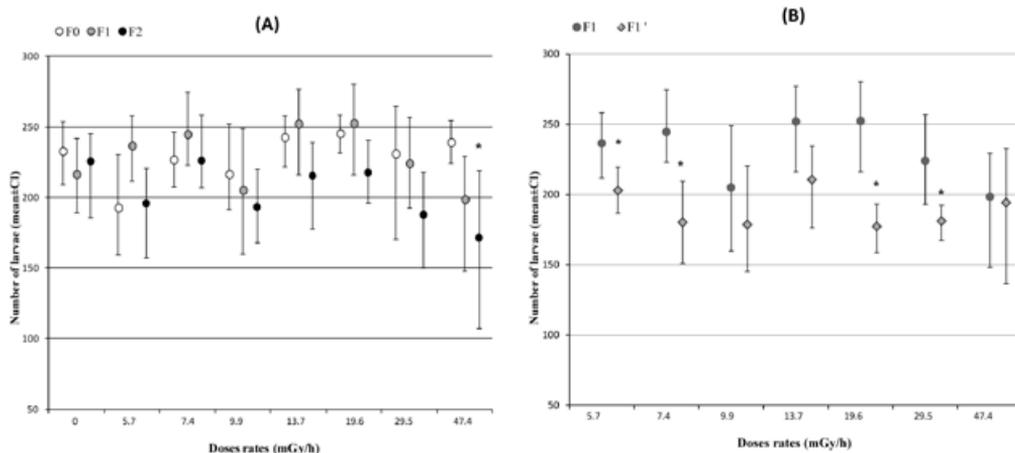


Figure 1 (A). Pontes totales cumulées de *C. elegans* issues des générations exposées (F0-F1-F2). Chaque point représente la moyenne du nombre de larve \pm IC (intervalle de confiance d'une loi de Poisson) avec $n = 10$ pour le témoin et $n = 7$ pour les débits de dose étudiés. * représente une différence significative entre les générations ($p < 0.05$)

Figure 1 (B). Pontes totales cumulées de *C. elegans* issues de la 2ème génération exposée (F1) et placée en milieu non exposé après exposition parentale (F1'). Chaque point représente la moyenne du nombre de larve \pm IC (intervalle de confiance d'une loi de Poisson) avec $n = 7$ pour les débits de dose étudiés. * représente une différence significative entre les générations ($p < 0.05$)

Sujet de la thèse :

Evaluation des effets d'une pollution chronique sur la dynamique de population de *Caenorhabditis elegans* à travers une approche bioénergétique.

Doctorant :	Benoit GOUSSEN
Date du début de la thèse :	03/10/2010
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/LECO
Financement de thèse :	IRSN / INERIS
Directeur de thèse :	Alexandre Péry - INERIS
Tuteur de thèse :	Jean-Marc Bonzom
École doctorale :	AgroParisTech / ABIES

L'évaluation des effets toxiques à des échelles pertinentes est un challenge important pour la protection des écosystèmes. En effet, les polluants peuvent impacter les populations sur le long terme et jouer un rôle important dans la sélection naturelle. Dans de nombreux cas ils peuvent représenter une nouvelle force évolutive qui peut s'ajouter aux autres forces de sélection.

L'objectif de ce doctorat était donc d'étudier au laboratoire la dynamique évolutive de populations de nématode *C. elegans* exposées à l'uranium (U). Pour ce faire, notre stratégie a été de construire un modèle mécanistique basé sur la théorie du Budget Énergétique Dynamique (DEB) (Kooijman, 2010). Par cette approche notre but était de déterminer, chez des organismes exposés, les mécanismes liant les perturbations de l'acquisition de l'énergie, les fluctuations de la croissance et de la reproduction, et d'estimer ainsi les conséquences éventuelles de ces perturbations sur plusieurs générations.

Une expérience multi générationnelle (16 générations) a été réalisée sur deux populations de *C. elegans* (contrôle et exposée à 1,1 mM U) présentant une forte diversité génétique. Toutes les trois générations, des individus étaient extraits des populations et soumis à une gamme de concentrations en uranium (de 0 à 1,2 mM U). La croissance, la ponte et la survie ont été mesurées quotidiennement durant six jours. Les résultats obtenus montrent une diminution significative de la taille et de la ponte maximale des individus en fonction de la concentration en uranium, quel que soit la population d'origine (contrôle ou exposée). De plus, les individus issus de la population exposée pendent significativement moins que les individus issus de la population contrôle (toutes générations et concentrations confondues ; anova effet principal population, $p = 0.02$). Une amélioration du modèle DEBtox nématode de Jager et al. (2005) a été proposée et utilisée afin d'étudier le mode d'action de l'uranium sur *C. elegans*. Ce nouveau modèle, plus robuste, nous indique que l'uranium impacterait principalement les fonctions liées à l'assimilation de nourriture, ce qui est cohérent avec les études de Massarin (2010) sur le crustacé, *Daphnia magna*. Dans nos conditions expérimentales, la concentration sans effets (NEC) déterminée à l'aide du modèle est de 0,42 mM d'uranium.

Globalement, ce travail contribue à accroître nos connaissances sur les effets des polluants sur la dynamique des populations, et utilise des concepts et des outils mathématiques originaux (modèle DEBtox utilisé en multigénération) qui pourront être appliqués dans d'autres contextes afin de réaliser in fine une meilleure évaluation des risques écologiques des polluants.

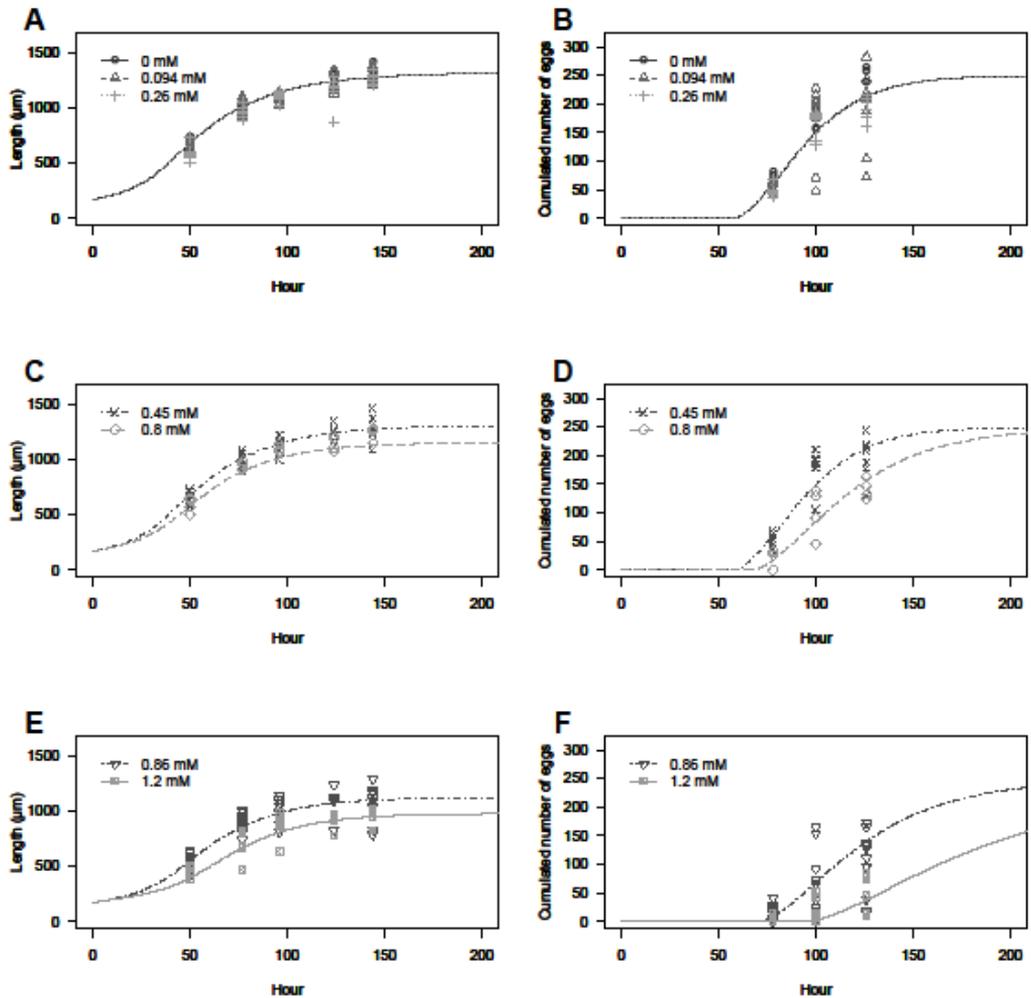


Figure 1: Résultats obtenus sur la population contrôle après une exposition à une gamme de concentrations en uranium. Les paramètres mesurés au cours du temps sont la taille des individus et le nombre d'œufs pondus. Les données sont représentées par les symboles, tandis que les lignes indiquent les ajustements du mode d'action « assimilation » du modèle DEBTox. Les figures A et B représentent les résultats pour les concentrations inférieures à la concentration sans effets (NEC) ; les figures C, D, E et F, pour les concentrations supérieures à la NEC.

Sujet de la thèse :

Utilisation et Développement d'outils prédictifs pour l'évaluation des risques écotoxiques des radionucléides dans un contexte de multi-contamination..

Doctorant :	Adrien MARGERIT
Date du début de la thèse :	06/02/2012
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/L2BT
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Elena Gomez - Université Montpellier I
Tuteur de thèse :	Rodolphe Gilbin
École doctorale :	Université Montpellier 1/Systèmes intégrés en biologie, agronomie, géosciences, hydrosociences et environnement.

L'uranium (U) et le cadmium (Cd) sont deux contaminants dont la présence à proximité de certaines Installations du Cycle du Combustible Nucléaire (ICCN) peut être (en partie) reliée à un fonctionnement normal ou accidentel de celles-ci. Dans une démarche d'évaluation des risques écotoxicologiques, du fait de leur co-occurrence, l'étude des effets combinés de l'U et du Cd revêt un intérêt particulier, notamment dans l'éventualité d'une interaction entre ces contaminants.

Des modèles descriptifs simples, basés sur une analyse des courbes dose-réponse des substances seules ou en mélange, sont couramment utilisés pour détecter et identifier les interactions (synergique ou antagoniste) entre contaminants (e.g. MixTox). Dans cette étude, l'effet combiné de l'U et du Cd a été évalué sur la croissance et la reproduction du nématode *Caenorhabditis elegans* à travers deux expériences indépendantes. L'exposition des individus a été réalisée par des géloses contaminées sur lesquelles est déposé un tapis bactérien, source de nourriture du nématode. Un plan expérimental factoriel partiel comportant 1 condition contrôle, 14 conditions « substances seules » et 34 conditions « mélanges » a été utilisé afin de générer les données nécessaires à une modélisation MixTox.

L'analyse des données obtenues a permis d'identifier une interaction antagoniste ratio-dépendante entre l'U et le Cd, pour les deux critères d'effet étudiés. Une légère synergie pourrait également s'opérer dans les mélanges pour lesquels la toxicité de l'U est prédominante. L'ensemble des données obtenues a permis d'émettre l'hypothèse que l'U bloquerait partiellement l'internalisation (phase d'exposition ou toxicocinétique) ou l'action du Cd (phase toxicodynamique) au sein des nématodes. L'exploration de la bioaccumulation de l'U et du Cd, seuls et en mélanges, par *C. elegans* pourrait donc constituer une piste intéressante afin de préciser les mécanismes sous-jacents à cette interaction antagoniste. En outre, une modélisation des données obtenues, fondée sur la physiologie des organismes, à travers un modèle utilisant la théorie des Budgets Énergétiques Dynamiques (i.e. DEBtox) pourrait appuyer cette hypothèse bien que des améliorations doivent encore y être apportées. D'un point de vue de l'évaluation des risques, cette dernière a l'avantage de décrire les effets de contaminants sur la durée de vie entière d'un organisme et permettent d'estimer une concentration sans effet (NEC), indépendante de la durée d'exposition.

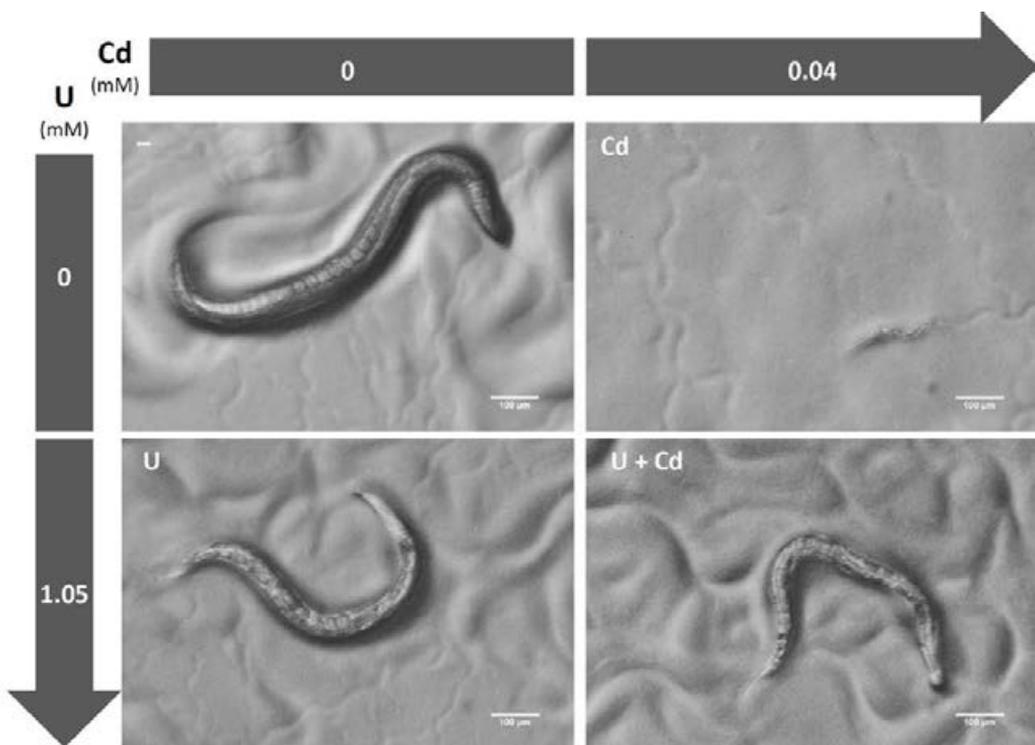


Figure : Illustration des effets antagonistes se produisant entre l'U et le Cd sur la taille du nématode *Caenorhabditis elegans*. Les clichés ont été réalisés ~4j après éclosion des individus.

**Mardi 15 octobre
13h50- 15h30**

Session radioprotection

Effets des faibles doses de rayonnements ionisants en situation chronique

Salle Almanarre

Présidente de session : Jocelyne Aigueperse

Frédéric TOROSSIAN - Développement d'un modèle de niche hématopoïétique en 3D : un outil technologique pour l'acquisition de nouvelles connaissances scientifiques sur l'aplasie radio-induite

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

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

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

Sujet du post-doctorat :

Développement d'un modèle de niche hématopoïétique en 3D : un outil technologique pour l'acquisition de nouvelles connaissances scientifiques sur l'aplasie radio-induite.

Post-doctorant :

Frédéric TOROSSIAN

Date de début :

13/02/2012

Tuteur :

Alexandra SEMONT

Financement :

Recherche exploratoire

Suite à des accidents, une exposition externe aux radiations, peut entraîner différents syndromes nécessitant une prise en charge thérapeutique. Le syndrome hématopoïétique se traduit par une aplasie médullaire résultant directement des effets de l'irradiation sur l'hématopoïèse, processus physiologique permettant à partir des cellules souches hématopoïétiques (CSH) de la moelle osseuse, la production et le renouvellement des cellules sanguines. Récemment, les connaissances sur la régulation de l'hématopoïèse ont évolué suite à l'émergence d'un nouveau concept faisant intervenir la notion de niches à CSH. Ces niches constituent un microenvironnement (libération de facteurs de croissance, interactions cellulaires de proximité et interaction avec la matrice extracellulaire) indispensable au maintien et au développement des CSH. Les niches hématopoïétiques sont composées notamment d'ostéoblastes et d'adipocytes ayant pour origine commune les cellules souches mésenchymateuses (CSM), mais également d'ostéoclastes impliqués dans la résorption osseuse ainsi que de cellules endothéliales qui permettent la formation de vaisseaux sanguins.

L'objectif principal de ce projet est de développer *in vitro* un modèle innovant de niches hématopoïétiques permettant l'analyse des altérations radio-induites des CSH maintenues dans un environnement proche de celui observé *in vivo*.

Ce projet s'articule en quatre parties : 1) le développement du modèle, 2) la validation fonctionnelle de ce modèle *in vivo* (capacité à maintenir un environnement propice à la genèse de l'hématopoïèse), 3) l'analyse de la radiosensibilité des différents constituants de la niche et 4) l'analyse de l'impact d'une irradiation sur la fonctionnalité de la niche.

Pour établir ce modèle, des biomatériaux d'hydroxyapatite de calciumensemencés avec des CSM humaines d'origine médullaire ont été utilisés et greffés en sous-cutané dans des souris immunodéficientes. Après 8 semaines de greffe, les colorations réalisées au sein du biomatériau montrent la formation de vaisseaux sanguins, la présence d'ostéoblastes, d'ostéocytes et la formation d'os mature, mais également la présence d'adipocytes et de cellules fibroblastiques suggérant ainsi le développement d'une hématopoïèse. Ces résultats valident la fonctionnalité de la niche hématopoïétique lorsque celle-ci est implantée *in vivo*. C'est dans ce modèle, que nous avons choisi d'étudier les mécanismes de dérégulation radio-induits de cette niche. Ce travail est en cours de réalisation. L'acquisition de connaissance sur la régulation de la niche hématopoïétique après irradiation pourrait permettre à long-terme de potentialiser les traitements de l'aplasie médullaire radio-induite en ciblant non seulement les CSH mais également leur niche.

Sujet de la thèse :

Effets différentiels d'une contamination à faibles doses au césium 137 sur la progression de l'athérosclérose.

Doctorant :

Clélia LE GALLIC

Date du début de la thèse :

07/11/2011

Laboratoire :

PRP-HOM/SRBE/LRTOX

Financement de thèse :

EDF - IRSN

Directeur de thèse :

Stéphanie LEHOUX - Division of Experimental Medicine,

McGill University

Tuteur de thèse :

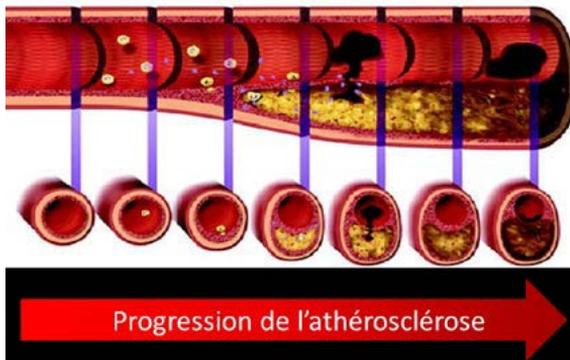
Teni EBRAHIMIAN

École doctorale :

Université Paris Sud XI

Lors d'accidents nucléaires comme Tchernobyl ou Fukushima, d'importantes quantités de radionucléides sont disséminées dans l'environnement. Parmi eux, le césium 137 constitue le principal élément contaminant les populations avoisinantes (demi-vie \approx 30 ans). Ces dernières sont exposées notamment par l'ingestion de denrées contaminées. Les conséquences sanitaires non-cancéreuses dues à une telle ingestion chronique restent mal connues, et en particulier les effets sur le système cardiovasculaire. Bien qu'il existe une corrélation entre l'exposition à forte doses de rayonnements ionisants et le développement de pathologies cardiovasculaires, concernant les faibles doses les résultats sont divergents. En effet, il est difficile d'individualiser le risque lié aux radiations des autres facteurs de risques des pathologies cardiovasculaires. Il est donc primordial de poursuivre les recherches dans ce domaine afin de caractériser les mécanismes physiopathologiques impliqués.

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



Une première approche in vivo s'appuie sur un modèle murin développant la maladie de manière chronique (souris ApoE^{-/-}). Ces souris ont reçu du césium à différentes concentrations 4, 20 ou 100 kBq/L (via l'eau de boisson) pendant 3, 6 ou 9 mois dans le but de suivre la progression de la pathologie à ses différents stades.

Aux étapes précoces de la pathologie (3 mois), nous observons une diminution de l'expression génique de certains marqueurs de l'inflammation. En revanche, concernant VCAM1, molécule impliquée dans les étapes de recrutement des cellules immunitaires, nous observons une augmentation de l'expression génique et plasmatique, reliée à un épaississement de l'intima (tunique interne des vaisseaux), principalement chez les souris ApoE^{-/-} contaminées 100 kBq/L. Ce résultat n'est pas retrouvé aux temps intermédiaires (6 mois), où nous observons plutôt une diminution de son expression, ainsi que d'autres cytokines inflammatoires impliquées dans la progression de la maladie. De plus, la quantification de la taille des plaques et leur composition en macrophages restent inchangées quel que soient les groupes d'étude.

Nous étudions actuellement les étapes tardives de la pathologie (9 mois) afin de mieux caractériser la composition des plaques d'athérome. Le profil d'expression des cytokines inflammatoires est comparable à celui des temps intermédiaires.

Ces premiers résultats suggèrent la mise en place d'une réponse adaptative au cours du temps et les effets transitoires observés ne semblent pas porter à conséquences sur le développement et la progression de la pathologie à long terme.

Une seconde approche « in vitro » permettra d'étudier plus précisément les mécanismes impliqués au niveau des cellules endothéliales issues de cordon ombilical humain (cellules HUVEC) suivant une contamination au ^{137}Cs à différentes concentrations.

Sujet de la thèse :

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

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

Les mineurs d'uranium sont exposés chroniquement aux rayonnements ionisants (RI) (radon et à ses descendants à vie courte, rayonnements gamma, poussières d'uranium). Alors que les études épidémiologiques ont montré une relation entre le risque de décès par cancer pulmonaire et l'exposition cumulée au radon, la question des effets liés aux autres radiations se pose ainsi que leur association avec le risque de cancers extra-pulmonaires et de pathologies non-cancéreuses.

Le premier axe porte sur le risque de mortalité par cancer du rein pour comprendre l'excès de mortalité observé dans la cohorte française des mineurs d'uranium. De nouvelles analyses sont réalisées dans la cohorte française (n=5086, 24 cas) dont le suivi a été prolongé de 8 ans, et dans la cohorte allemande de la Wismut (n=58986, 174 cas). La méthodologie des risques compétitifs a été appliquée pour vérifier si cet excès pouvait être associé aux RI. Les résultats ne montrent pas d'augmentation significative du risque associée à l'exposition cumulée aux différentes sources de RI (Cause-Specific Hazard Ratio : CSHRWismut poussières=1.009, IC95%[0.991; 1.027]), ni avec la dose reçue par le rein (CSHRWismut dose=1.001, IC95%[0.999; 1.002]), malgré la persistance d'un excès de mortalité par cancer du rein au sein de la cohorte française (Ratio de mortalité standardisé=2.16, IC95%[1.08; 3.84]).

Le deuxième axe de la thèse porte sur l'analyse du risque de décès par pathologies cardiovasculaires suite à l'exposition aux RI, dont aucun consensus n'a été trouvé au sein de la littérature actuelle. Pour vérifier si l'association entre le risque de décès par maladie cérébrovasculaire et l'exposition cumulée au radon précédemment observée au sein de la cohorte française persiste après considération des facteurs de risque principaux (glycémie, cholestérol...), une étude cas-témoins nichée au sein de la cohorte a été planifiée pour recueillir les informations concernant ces facteurs pour 314 mineurs (76 cas et 238 témoins). Pour limiter les biais d'échantillonnage et garder une puissance statistique proche de celle obtenue en étude de cohorte, les cas et les témoins ont été contre-appariés sur l'exposition cumulée au radon. Le recueil étant achevé, la suite des travaux de thèse concernera la mise en forme des données et leur analyse.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Clémentine POISSON
Date du début de la thèse :	04/10/2010
Laboratoire :	Prp-Hom/SRBE/LRTOX
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Isabelle Dublineau (IRSN)
Tuteur de thèse :	Yann Gueguen
École doctorale :	Université Paris Sud/ ED425-Innovation thérapeutique : du fondamental à l'appliqué

L'Uranium (U) est un radioélément et un métal lourd. En raison de sa présence naturelle et des activités anthropogéniques, l'Homme peut être exposé à l'U. Afin de mieux évaluer les risques liés à l'exposition chronique de radionucléides sur l'environnement et l'Homme, l'IRSN a mis en place le programme ENVIRHOM dans lequel s'inscrit ce travail de thèse.

Après ingestion d'U, celui-ci s'accumule préférentiellement dans les reins et l'os. Le foie qui est un organe clé dans le métabolisme accumule également de l'U mais dans une moindre mesure. Des études antérieures réalisées au laboratoire ont montré que le métabolisme des xénobiotiques, premier système de défense enzymatique de l'organisme, est perturbé suite à une contamination chronique à l'U. Le système pro/anti-oxydant est la seconde barrière de défense. C'est un équilibre entre la production d'espèces réactives et le système anti-oxydant.

L'objectif de cette thèse est d'étudier quels sont les effets de l'U après contamination chronique au niveau du foie et des reins sur le système pro/anti-oxydant. Pour y répondre, des modèles animaux et cellulaires ont été mis au point puis contaminés par l'U. Les études chez l'animal permettent de mimer les risques d'exposition de la population générale, alors que les études in vitro apportent des explications sur les mécanismes impliqués. Le facteur de transcription, Nrf2, qui a un rôle important dans la régulation du système anti-oxydant a été étudié.

Les études in vitro de cinétique sur une lignée de cellules humaines (HepG2) montrent une entrée rapide de l'U dans la cellule en quelques minutes. Une activation précoce de l'expression génique de la catalase et de Nrf2 à des concentrations inférieures à 100 μM d'U est observée alors que l'expression protéique de Nrf2 n'est pas modifiée. Une augmentation de la production d' O_2^- après 4h de contamination à 500 μM d'U est aussi observée (Figure n°1). La mort cellulaire ainsi que l'activation des caspases 3/7 n'apparaissent qu'après 12 heures de contamination.

L'U entraîne une activation du système anti-oxydant au niveau cellulaire sans modifier l'expression protéique de Nrf2. Chez l'animal, des altérations du système anti-oxydant sont également observées, notamment le métabolisme du glutathion alors que les enzymes associées et Nrf2 sont peu modifiés.

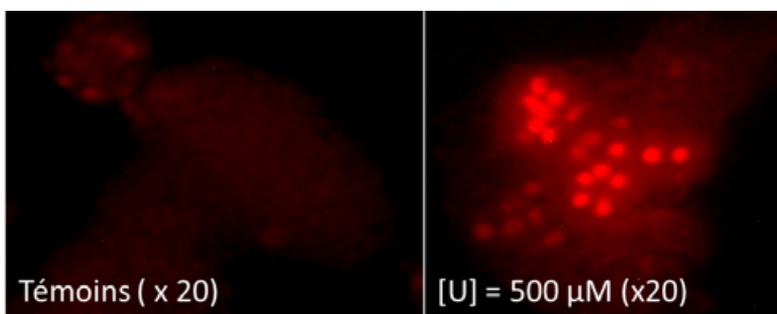


Figure n°1 : Marquage des anions superoxydes sur des cellules hépatiques après 4 heures de contamination par l'uranium

**Mardi 15 octobre
16h15- 18h25**

Session radioprotection

Développement en métrologie des rayonnements ionisants

Salle Almanarre

Président de session : Gauzelin BARBIER

Conférence invitée :

José BUSTO - ANTARES : le télescope sous la mer capte la lumière des abysses

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

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

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

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

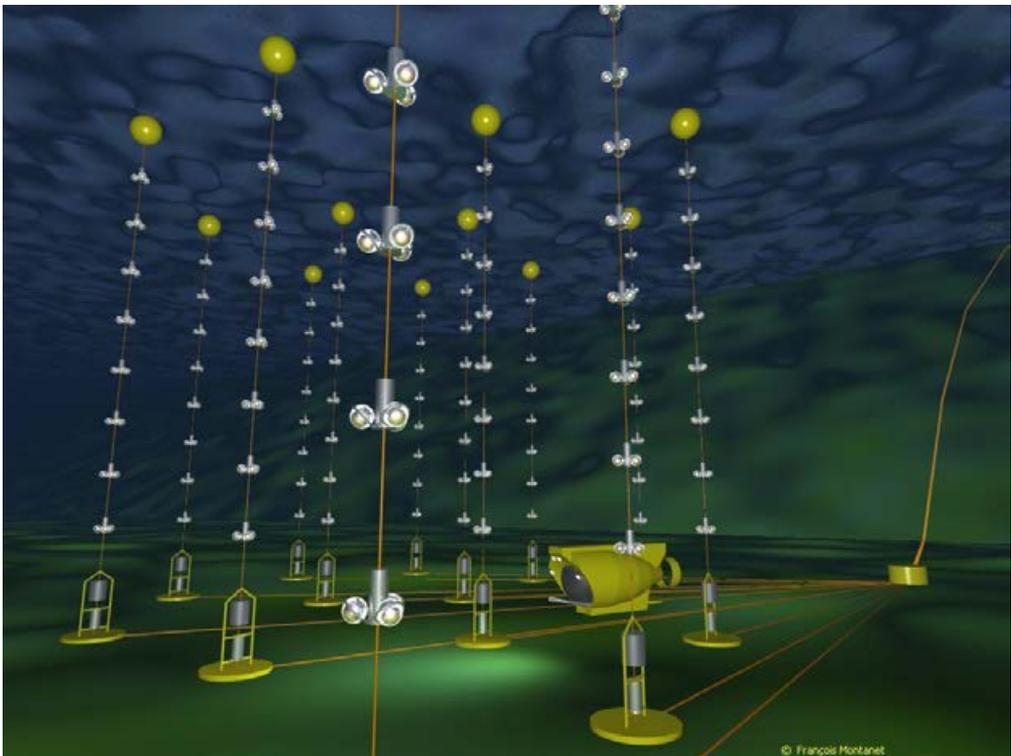
ANTARES : le télescope sous la mer capte la lumière des abysses

José BUSTO Professeur à l'Université d'Aix-Marseille, directeur adjoint pour la recherche du département de physique, chercheur au Centre de Physique des Particules de Marseille (CPPM).

Le détecteur Antares est un télescope d'un genre nouveau installé au large de la Seyne-sur-Mer (Var) par 2500 mètres de profondeur. Il cherche à détecter des neutrinos de haute énergie émis par les cataclysmes de l'Univers !

La nouvelle astronomie neutrinos offre la possibilité d'observer le cœur des sources astrophysiques les plus énergétiques de l'Univers. Jusqu'à maintenant les sources de neutrinos de très haute énergie n'ont jamais été vues, contrairement aux sources de photons. Mais, la présence de rayons cosmiques de très hautes énergies laisse à penser que ce type de neutrinos doit être produit dans l'Univers. Détecter ces neutrinos est un nouveau défi à relever, car leur faible interaction avec la matière les rend extrêmement difficiles à observer.

Le détecteur ANTARES est constitué d'un réseau d'un millier de photomultiplicateurs sensibles à la lumière Cherenkov. Ils sont répartis sur douze lignes de détection de près de 500 mètres de hauteur installées sur une surface d'environ un dixième de kilomètre carré au large de l'île de Porquerolles.



Vue du détecteur 0,1km²

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	François VIANNA
Date du début de la thèse :	01/11/2010
Laboratoire :	PRP-HOM/SDE/LMDN - CENBG (Bordeaux)
Financement de thèse :	IRSN / CNRS
Directeur de thèse :	Philippe MORETTO (HDR) & Philippe BARBERET - Université Bordeaux 1
Tuteur de thèse :	Vincent GRESSIER
École doctorale :	Université Bordeaux 1 / École doctorale Sciences Physiques et de l'Ingénieur

La compréhension des mécanismes de réponse du vivant aux rayonnements ionisants est aujourd'hui un enjeu essentiel du fait de la multiplicité et de la diversité des sources d'exposition. Afin d'étudier les aspects fondamentaux de cette réponse, les microfaisceaux d'ions sont un outil essentiel, par leur capacité à irradier sélectivement un compartiment subcellulaire avec une dose précisément définie.

Le groupe IPCV du CENBG dispose d'un microfaisceau d'ions dédié à la micro-irradiation d'échantillons biologiques (Figure 1). Un partenariat avec l'IRSN, dans le cadre du programme ROSIRIS, vise à mettre en place un système identique, mais avec des types d'ions et des énergies complémentaires, sur l'installation AMANDE.

Cette thèse porte sur trois aspects : des développements techniques autour du microfaisceau du CENBG, qui seront mis en place sur la ligne de l'IRSN ; des campagnes d'irradiation d'échantillons cellulaires et multicellulaires ; un travail de modélisation avec l'outil Geant4, pour caractériser avec précision ces irradiations afin d'interpréter les phénomènes biologiques observés.

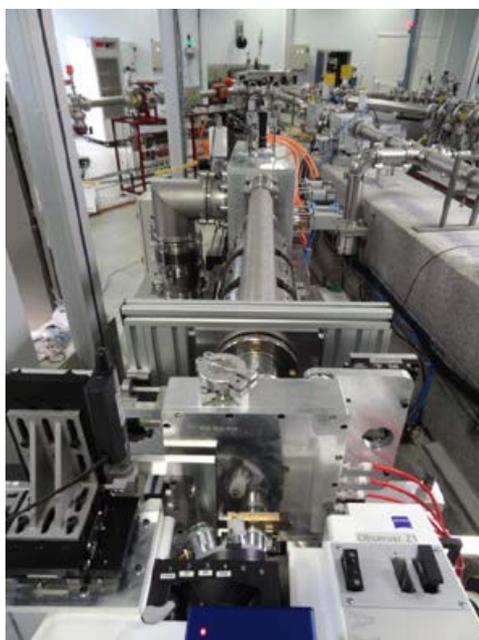


Figure 1 : La ligne de faisceau du CENBG

Ces travaux ont, entre autres, permis :

- de déterminer les performances de la ligne du CENBG, notamment la taille du faisceau à l'air et la précision de tir du dispositif (environ 2 μm), valeurs également attendues pour la ligne de l'IRSN ;
- de mettre en place des procédures d'irradiation d'échantillons cellulaires couplée à la vidéomicroscopie pour visualiser en temps réel et caractériser la cinétique de recrutement de protéines d'intérêt sur les dommages ADN radio-induits. Ces irradiations ont par ailleurs été modélisées pour caractériser le dépôt d'énergie au sein des échantillons et calculer la dose locale associée ;
- d'appliquer ces techniques sur des embryons précoces de *Caenorhabditis elegans* afin d'irradier sélectivement un compartiment cellulaire défini dans un organisme multicellulaire en division, et de suivre l'impact de cette irradiation sur son développement dans les premiers stades de division cellulaire.

Les résultats obtenus permettent de valider les méthodes d'irradiation et de vidéomicroscopie, tant au niveau cellulaire que multicellulaire. Les travaux entamés durant cette thèse vont être poursuivis par le CENBG, et ouvrent également des perspectives pour initier de nouvelles études, notamment dans le cadre de collaborations avec l'IRSN ou d'autres laboratoires.

Sujet de la thèse :

Développement d'un système opérationnel de spectrométrie des neutrons dédié à la caractérisation dynamique de l'Environnement Radiatif Naturel Atmosphérique à l'Observatoire du Pic du Midi de Bigorre.

Doctorant :

Adrien CHEMINET

Date du début de la thèse :

01/10/2010

Laboratoire :

PRP-HOM/SDE/LMDN

Financement de thèse :

IRSN/ONERA/région Midi-Pyrénées

Directeur de thèse :

Guillaume Hubert - ONERA

Tuteur de thèse :

Véronique Lacoste

École doctorale :

Université de Toulouse/ISAE - AA

Ces travaux de thèse sont le fruit d'une collaboration entre le Laboratoire de Métrologie et Dosimétrie des Neutrons de l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire et le Département d'Environnement Spatial de l'Office National d'Etudes et Recherches Aérospatiales.

L'objectif était de caractériser et de mettre en service un système opérationnel de spectrométrie des neutrons, étendu au domaine des hautes énergies afin de mesurer de manière dynamique les variations de l'environnement radiatif naturel atmosphérique en altitude au sommet de l'Observatoire du Pic du Midi de Bigorre dans les Pyrénées. Pour ce faire, les réponses des différents détecteurs ont été calculées par simulations Monte Carlo avant d'être validées expérimentalement jusqu'au domaine des hautes énergies en champs neutroniques de référence.

La méthode de reconstruction mathématique du spectre par déconvolution a été étudiée afin de quantifier les incertitudes systématiques. Ensuite, le système a été testé sous la roche au Laboratoire Souterrain à Bas Bruit de Rustrel avant d'effectuer les premières mesures en altitude à +500 m et +1000 m. A la suite de ces expériences, le spectromètre a été installé en mai 2011 au sommet du Pic du Midi à +2885 m. La méthodologie d'analyse en continu des données recueillies a été développée. Des oscillations saisonnières du spectre dont l'amplitude dépend du domaine énergétique ont été mises en évidence. Des décroissances Forbush, caractéristiques d'éruptions solaires, ont également été observées à l'approche du 24ème cycle solaire.

Des simulations Monte Carlo ont permis d'analyser ces résultats. Les données ont été valorisées grâce à des applications en dosimétrie personnelle et en fiabilité des composants électroniques vis-à-vis des radiations.

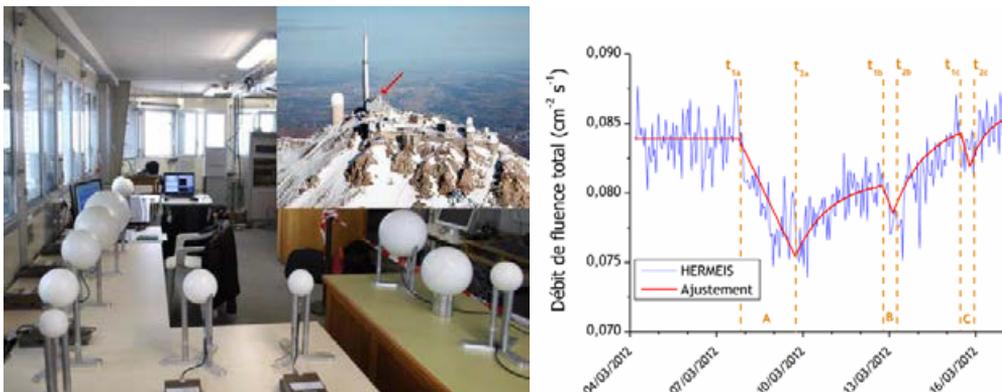


Figure 1 - a) Système HERMEIS installé au Pic du Midi. b) Flux neutronique mesuré au Pic du Midi durant les événements solaires de Mars 2012. Plusieurs décroissances Forbush sont observées (A-B-C)

Sujet de la thèse :

Un spectromètre à pixels actifs pour la métrologie des champs neutroniques.

Doctorant :	Julien TAFOREAU
Date du début de la thèse :	18/10/2010
Laboratoire :	PRP-HOM/SDE/LMDN
Financement de thèse :	IRSN/LNE
Directeur de thèse :	Daniel HUSSON /IRES Strasbourg
Tuteur de thèse :	Léna LEBRETON
École doctorale :	Strasbourg - Physique et chimie physique ED182

La métrologie fondamentale est la garante de la pérennité des systèmes de mesure et est en charge de fournir les étalons de références. En ce qui concerne la métrologie des rayonnements ionisants et, en particulier la métrologie des neutrons, des détecteurs étalons sont utilisés pour caractériser les champs de références, en énergie et en fluence. Les dosimètres ou détecteurs de particules sont étalonnés. Cette thèse présente le développement d'un spectromètre neutron candidat au statut d'étalon primaire pour la caractérisation de champs neutroniques dans la gamme 5-20 MeV.

Le spectromètre utilise le principe du télescope à protons de recul comme moyen de détection ; la technologie CMOS, au travers de trois capteurs de positions, est mise à profits pour réaliser la trajectographie du proton de recul. Un détecteur Si(Li) est en charge de la mesure de l'énergie résiduelle du proton. Les simulations des dispositifs, réalisées sous MCNPX, ont permis d'estimer les performances du dispositif et de valider la procédure de reconstruction de l'énergie des champs neutroniques. Une étape essentielle de caractérisation des éléments du télescope et en particulier des capteurs CMOS est également proposée afin de garantir la validité de mesures expérimentales postérieures. Les tests réalisés aussi bien en champs mono-énergétiques qu'en champs étendus témoignent des très bonnes performances du système. La quantification des incertitudes indiquent une mesure de l'énergie avec une précision de plus de 1.5 % pour une résolution de moins de 6 %. La mesure de la fluence neutronique est quand a elle réalisée avec une incertitude de 4 à 6 %.

Mots clés : Métrologie neutrons, télescopes à protons de recul, étalon primaire, capteurs CMOS.



Le premier prototype du TPR-CMOS, construit en 2009

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Sarah BAGHDADI
Date du début de la thèse :	09/03/2012
Laboratoire :	PRP-HOM/SDI/LRC-CNRS UMR7575- LECIME
Financement de thèse :	IRSN/DGA
Directeur de thèse :	Gérard COTE - ENSCP
Tuteur de thèse :	Céline BOUVIER-CAPELY
École doctorale :	Université Paris-Sud 11/ ED 534 MIPEGE

En cas d'accident ou d'acte de malveillance des particules radioactives, constituées notamment d'actinides, peuvent être relâchées dans l'atmosphère. Les actinides sont des émetteurs alpha issus du cycle du combustible ou présents à l'état naturel. Les particules alpha possèdent une forte énergie mais sont arrêtées par quelques centimètres d'air, la peau, etc., de sorte que les actinides sont néfastes principalement par contamination interne. De fait, ils ne peuvent pas être détectés directement par mesure externe et il faut procéder à des analyses d'excrétas.

Les analyses réalisées pour le suivi médical des travailleurs du nucléaire sont basées sur la mesure des actinides dans les urines par spectrométrie alpha, après préparation chimique. Cette méthode est fiable et exacte mais peut prendre jusqu'à quinze jours pour atteindre des limites de détection suffisamment basses pour quantifier des éléments comme l'américium. Elle est donc inadaptée aux situations d'urgence pour lesquelles il faudrait être capable de traiter rapidement un très grand nombre d'échantillons (résultat des analyses en moins de 24 heures).

La présente thèse vise à développer une méthode d'analyse des actinides reposant sur un couplage entre la chromatographie liquide (séparation des actinides) et l'ICP-MS (mesure).

Dans un premier temps, la durée de la préparation chimique a été significativement réduite, en remplaçant la minéralisation au four à moufle (24h) par une digestion sous micro-ondes (6h20).

Dans un second temps, notre travail a été centré sur l'optimisation des séparations chromatographiques. Ainsi, notre choix s'est porté sur une résine imprégnée de calixarène hydroxamique, celle-ci donnant de bons résultats pour le plutonium et l'américium en urine synthétique ou réelle (respectivement 91% et 88%). Les résultats plus hétérogènes obtenus pour l'uranium nous ont conduits à développer une urine synthétique complexe afin de comprendre pas à pas le rôle des divers constituants des urines.

Enfin, nous avons montré que le couplage de la colonne calixarène avec l'ICP-MS permet une mesure en quelques minutes, ce qui valide d'ores et déjà notre approche. Les paramètres chromatographiques ont été optimisés sur des urines synthétiques simples diluées et notre objectif est maintenant d'automatiser l'analyse et d'optimiser les paramètres de la séparation pour des urines réelles.

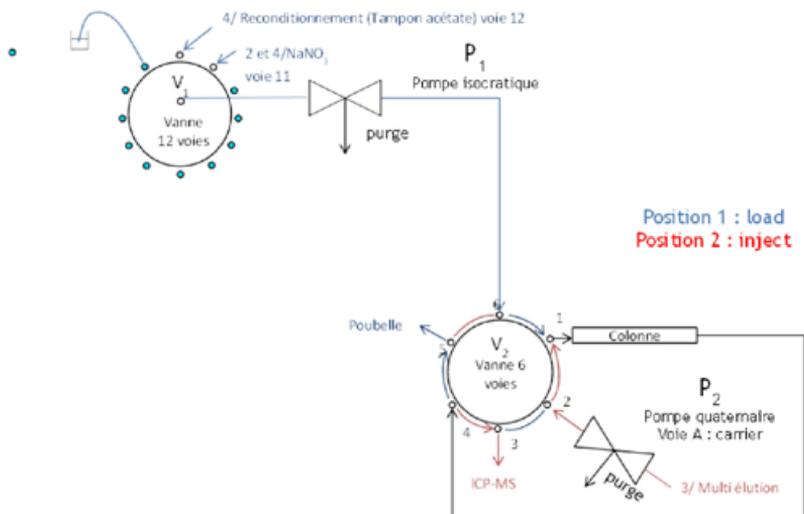


Figure 1 : Schéma du couplage automatisé

**Mardi 15 octobre
20h00**

Formation par la recherche

Salle Almanarre

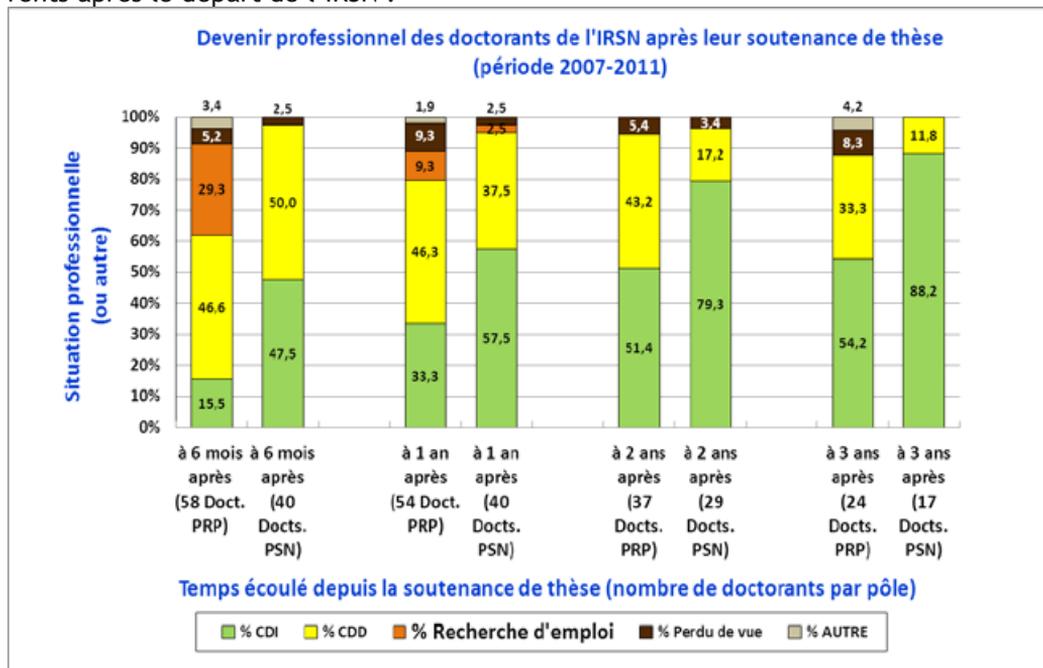
L'insertion professionnelle des doctorants et post-doctorants

Les formations de l'ABG

Débat

L'INSERTION PROFESSIONNELLE DES DOCTORANTS ET DES POST-DOCTORANTS DE
L'IRSN (PÉRIODE 2007-2011)
Irène SOROKINE-DURM (DSDP/SPS)

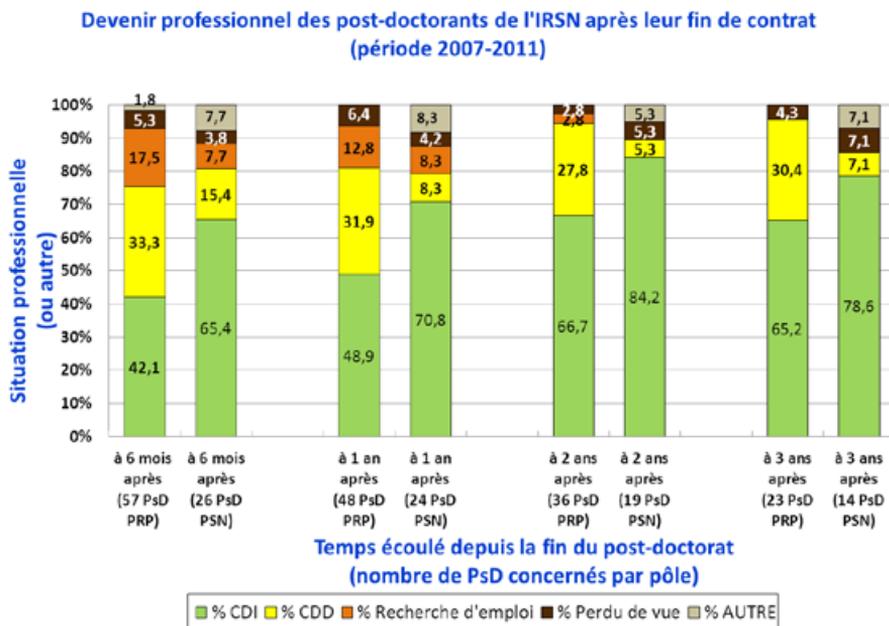
L'IRSN garde le contact, autant que possible, avec les jeunes chercheurs qu'il a formés et leur employabilité constitue l'un des indicateurs du professionnalisme de l'Institut et des écoles doctorales partenaires. Une enquête annuelle interne auprès des tuteurs-encadrant permet la collecte des informations nécessaires au suivi du parcours professionnel des jeunes chercheurs pendant les trois années suivant leur soutenance de thèse, ou la fin de leur post-doctorat. Les 2 graphiques ci-dessous représentent l'employabilité des doctorants et post-doctorants ayant terminé leurs travaux de recherche dans la période début 2007- fin 2011 : soit 98 doctorants et 83 post-doctorants des pôles « Radioprotection, environnement, déchets et crise » (PRP) et « Sûreté des installations et systèmes nucléaires » (PSN). L'analyse a été faite à 4 moments différents après le départ de l'IRSN .



Il apparait que les jeunes chercheurs issus des formations du pôle PSN semblent entrer plus facilement sur le marché du travail que ceux issus du pôle PRP.

Le taux de chômage des doctorants IRSN est très faible, inférieur ou comparable aux valeurs publiées par ailleurs entre 2 et 4 ans après le doctorat: (1) Université Pierre et Marie Curie (enquête Docteur X Wanted édition 2009, taux global de chômage de 3,3%) ; (2) enquête CARREER , taux global de 10% en 2007 pour les docteurs de la génération 2004.

Pour information, le devenir professionnel des post-doctorants issus de l'IRSN est présenté ci-dessous.



L'IRSN permet aux jeunes chercheurs qu'il forme de trouver un emploi stable sur le marché du travail. Les valeurs en CDI sont comparables à celles publiées par l'Université Pierre et Marie Curie (enquête Docteur X Wanted édition 2009) qui affiche des taux de CDI de 61%, à 2 - 3 ans post-soutenance et 79 - 82%, à 3 à 5 ans .

A ce jour, 10 doctorants (sur 96) et 15 post-doctorants (sur 84) parmi tous ceux ayant terminé leur thèse ou post-doctorat à l'IRSN au cours de la période 2007-2011 ont trouvé un emploi stable au sein de l'Institut.

¹ La catégorie « autres » correspond à : reprise des études, parcours de professionnalisation, profession indépendante ou déjà en CDI au moment de la thèse ou du PsD.

² Compétences et employabilité des docteurs - rapport d'enquête - 31 janvier 2012 par le cabinet Adoc Talent Management (B. Durette, M. Fournier, M. Lafon). Licence de Creative Commons Attribution.

³ A comparer avec les valeurs obtenues pour les PsD de l'IRSN.



Thao Lang

Responsable Formations innovantes et Accompagnement

ABG - 239, rue Saint-Martin - 75003 PARIS

Tél. 01 42 74 78 87 - Fax. 01 42 74 18 03

thao.lang@abg.intelliagence.fr

Présentation du réseau ABG-Intelli'agence et des formations adaptées aux parcours des doctorants et post-doctorants :

Nouveau chapitre de la thèse

Guide d'auto-évaluation des compétences professionnelles

Doctoriales

Post-Doctoriales

Entretiens conseils

Ateliers thématiques

**Mercredi 16 octobre
8h20-10h00**

Session Sûreté

Fonctionnement des systèmes et équipements de confinement en situation normale et dégradée

Salle Almanarre

Président de session : Matthieu SCHULER

Conférence invitée :

Nicolas RIMBERT (LEMTA, Université de Nancy), Modélisation de la coagulation, du transport et de la déposition d'un aérosol de nanoparticules en vue de l'évaluation du risque d'exposition

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

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

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

Modélisation de la coagulation, du transport et de la déposition d'un aérosol de nanoparticules en vue de l'évaluation du risque d'exposition.

Nicolas RIMBERT

Chercheur au LEMTA, laboratoire d'Energétique et de Mécanique Théorique et Appliquée
Université de Nancy I

thème de recherche : écoulements multiphasiques et réactifs.

Cette présentation abordera le problème de la mesure et de la modélisation du transport et du dépôt de nanoparticules. Elle résulte d'une collaboration entre l'Institut National de la Recherche en Sécurité (INRS) et du Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Théorique et Appliquée (LEMTA) de l'université de Lorraine mais elle a également impliquée l'IRSN via la thèse de Vincent Césard et la collaboration de Corinne Prévost.

Dans un premier temps, on présentera les enjeux scientifiques: les particules sont si petites que les considérer comme des points matériels insensibles aux effets dits de "taille finie" semble un avantage, malheureusement elles sont également plus petite que la longueur d'onde du rayonnement visible ce qui rend caduque, pour les caractériser, la plupart des méthodes optiques. Elles sont d'autres part fortement sujette à l'agglomération, ce qui peut leur donner une forme potentiellement complexe (fractale) et augmenter fortement leur inertie ainsi que de les rendre sensible aux effets de taille finie.

Dans un deuxième temps, on présentera la méthode choisie pour modéliser leur comportement: les équations de bilan de population seront discrétisées en utilisant une méthode de quadrature des moments particulièrement simple pour l'utilisateur (DAE-QMOM) et les différents effets (dispersion, aggrégation, déposition) seront modélisés par les lois de fermetures adaptés (noyau d'aggrégation par exemple). Une validation expérimentale en cours sera également présentée.

Sujet de la thèse :

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

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

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

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

Un banc expérimental reproduisant un sas de démantèlement est mis en œuvre (Figure 1), dans lequel est implanté une disqueuse automatisée ainsi qu'un filtre test raccordé à une gaine de ventilation. Ce banc permet d'étudier différentes configurations possibles (distance filtre-disqueuse variable, débit aéraulique variable, présence de singularités). Toute l'instrumentation nécessaire à la mesure des particules incandescentes a été implémentée sur le banc d'essais et qualifiée. L'évolution de la vitesse des particules ainsi que leurs trajectoires sont déterminées à l'aide de diagnostics optiques PIV / PTV dans la veine de mesure conçue à cet effet. La granulométrie des particules émises est mesurée en utilisant un granulomètre de type APS et des visualisations par microscopes effectuées sur des filtres de prélèvements. Un pyromètre, dont le traitement signal a été adapté à nos conditions particulières d'utilisation (particules en vol), permet d'obtenir la mesure de la température moyenne des particules.

Les premiers résultats indiquent une perte du facteur de décontamination du médium filtrant, selon la norme NF-X-44-011, dans des configurations horizontales simples à 1,5 et 3 m de distance entre le filtre et la disqueuse. A ces distances, les particules se déplacent encore rapidement ($>10\text{m/s}$) et à haute température ($T > 600^\circ\text{C}$). Des essais analytiques sur le médium filtrant doivent être réalisés pour quantifier les phénomènes (thermique et/ou mécanique) engendrant une dégradation du confinement.

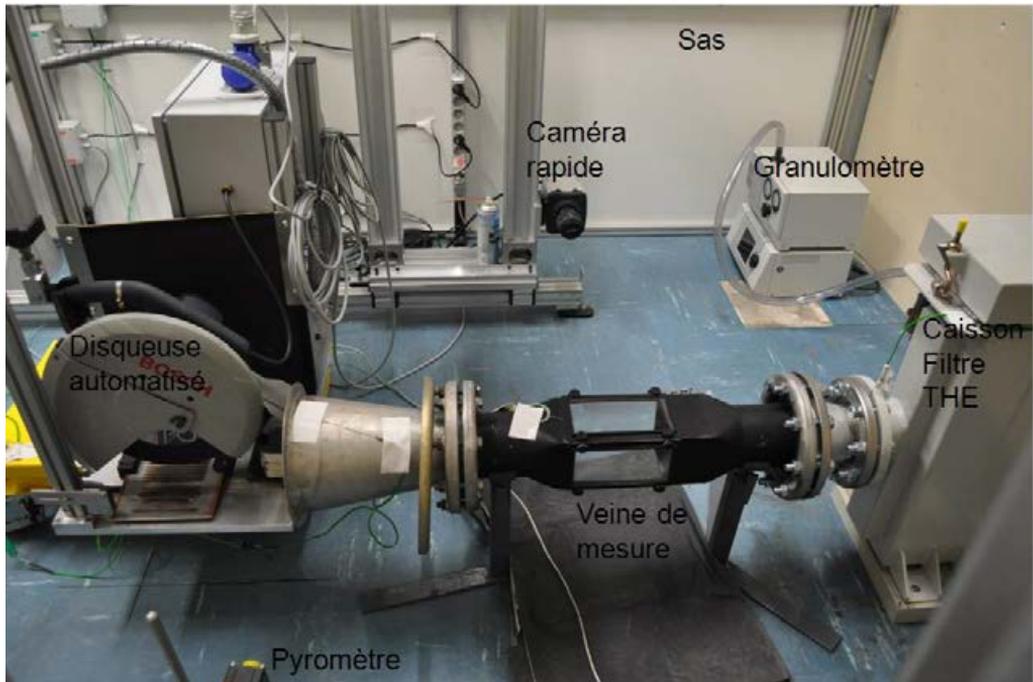


Figure 1- Photo de l'installation de Caractérisation des Particules Incandescentes et Mesure de l'Impact sur Filtre (CAPIMIF)

Sujet de la thèse :

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

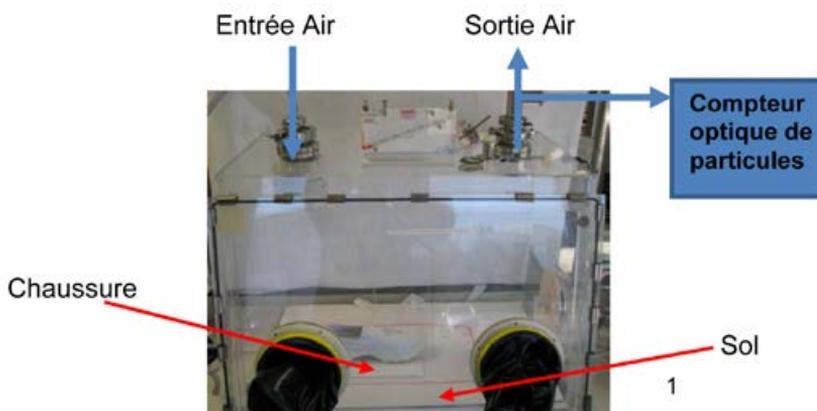
Doctorant :	Zakaria MANA
Date du début de la thèse :	01/12/2011
Laboratoire :	PSN-RES/SCA/LPMA
Financement de thèse :	IRSN/EDF
Directeur de thèse :	Marc RABAUD - FAST- Orsay
Tuteur de thèse :	Laurent RICCIARDI et François GENSDARMES
École doctorale :	Université Paris Sud _ MIPEGE

Lors des opérations de maintenance dans les installations nucléaires, l'activité volumique a tendance à augmenter. Cette augmentation est due à la remise en suspension de particules de faible diamètre (compris entre 0,5 µm et 20 µm). Le but de ces travaux est de déterminer le terme source dû à la marche des opérateurs sur une contamination particulaire.

L'étude bibliographique a permis de mieux comprendre le mécanisme de remise en suspension des particules. En effet, lorsqu'une particule est en contact avec le sol, celle-ci est soumise à la force de Van der Waals. Pour le cas de la marche, l'air généré sous la chaussure des opérateurs est responsable du détachement des particules. En effet, les forces aérodynamiques, essentiellement la force de traînée, peuvent remettre une particule en suspension. Le modèle Rock'n'Roll proposé par Reeks et Hall (2001) permet de déterminer des taux de remise en suspension. Néanmoins, ce modèle nécessite de connaître deux paramètres. Le premier est la distribution des forces aérodynamiques directement liée à la vitesse d'air sous la chaussure. Le second est la distribution des forces d'adhésion qui dépend principalement de la taille de la particule, de la rugosité de surface et des natures chimiques de la surface et de la particule.

Pour déterminer le premier paramètre, des simulations CFD (Computational Fluid Dynamics) ont été menées pour obtenir des ordres de grandeurs de vitesses pour le cas d'une plaque plane. Les résultats sont confrontés à des mesures PIV (Particle Image Velocimetry) afin de valider les premières simulations. Suite à cette validation, des simulations seront réalisées pour le cas de la chaussure afin de remonter à des distributions de forces aérodynamiques. Concernant, le second paramètre, des mesures AFM (Atomic Force Microscope) sont en cours de réalisation afin d'obtenir une distribution des forces d'adhésion d'une particule de silice parfaitement sphérique sur un revêtement époxy.

La dernière étape consistera à coupler le modèle Rock'n'Roll avec les calculs CFD pour remonter à des taux de remise en suspension. Ces résultats théoriques seront alors confrontés à des résultats obtenus pour le cas du déplacement d'une chaussure sur une distribution de particules connue dans un milieu contrôlé.



Sujet de la thèse :

Etude du colmatage des filtres THE plans et à petit pli par des particules nanostructurées simulant un aérosol de combustion.

Doctorant :

Soleiman BOURROUS

Date du début de la thèse :

14/11/2011

Laboratoire :

PSN-RES/SCA/LECEV

Financement de thèse :

IRSN / Camfil SAS

Directeur de thèse :

Dominique THOMAS -CNRS LRGP

Tuteur de thèse :

Laurent Bouilloux

École doctorale :

RP2E NANCY

La contribution des filtres à Très Haute Efficacité (THE) au maintien du confinement des radionucléides dans une INB est essentielle en assurant le piégeage des aérosols, principaux constituants des sources de contamination. Aussi, des recherches ont été entreprises afin de caractériser le comportement, notamment en termes d'évolution du colmatage, de filtres THE soumis à des contraintes représentatives de situations accidentelles telles que l'incendie.

Ainsi, l'objectif de ce travail est d'obtenir des données expérimentales sur le colmatage des filtres THE par des aérosols de combustion et de développer in fine des modèles ou corrélations prédictifs de l'évolution de la perte de charge de filtres THE.

La démarche retenue pour cette étude se décompose en deux parties, portant sur les filtres plans et plissés. En effet, le colmatage d'un filtre THE par des aérosols solides se déroule en trois phases, chacune découlant de l'interaction entre les particules, le fluide porteur et le filtre. Les deux premières phases du colmatage sont le fruit de l'interaction particules/medium tandis que la dernière est due au remplissage du pli et ne concerne donc que les filtres plissés.

Pratiquement, des expérimentations sont réalisées sur des échantillons de filtres THE industriels et avec des aérosols représentatifs des aérosols de combustion. Au cours de ces expérimentations, des mesures de perte de charge des filtres en cours de colmatage sont combinées à des méthodes d'observation par microscopie électronique (imagerie et détection EDS) et des méthodes de mesures optiques d'épaisseur de dépôts et d'écoulement (triangulation laser et vélocimétrie laser). La finalité étant de lier le comportement aéraulique d'un filtre à la phénoménologie du colmatage.

Les premiers résultats ont permis d'établir une approche de modélisation pour les filtres plans basée sur la mesure du profil de pénétration des aérosols au sein du médium et sur une analogie avec le colmatage d'un milieu poreux. En parallèle, des expérimentations sur des media filtrants plissés ont permis d'acquérir des données sur la répartition des aérosols le long des plis, sur la base desquelles un nouveau dispositif expérimental a été dimensionné et instrumenté afin d'approfondir la compréhension des mécanismes influant le colmatage des filtres plissés.

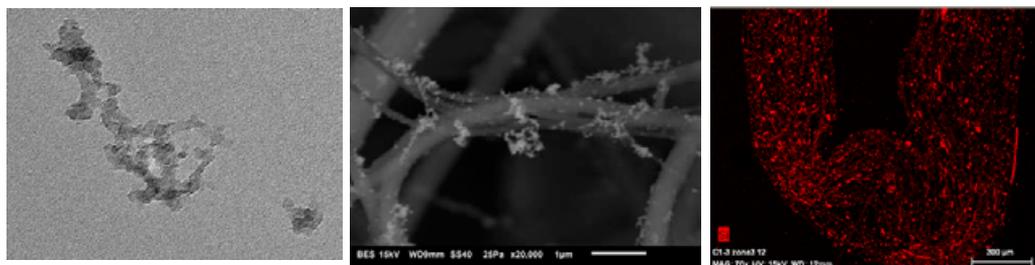


Figure 1- images obtenues par microscopie électronique d'aérosol de combustion (a) d'une fibre chargée de particules (b) vue en coupe d'une tête de pli (c).

**Mercredi 16 octobre
11h00-12h20**

Session parallèle Radioprotection

Pathologies induites par les rayonnements ionisants et les stratégies thérapeutiques :
approches expérimentale, clinique et épidémiologique

Salle Levant

Président de session : Jean-Michel CANALES

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

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

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

Sujet de la thèse :

Conséquences de l'inactivation de l'Inhibiteur des Activateurs du Plasminogène de type-1(PAI-1) dans l'endothélium sur les fonctions physiopathologiques associées aux complications des radiothérapies.

Doctorant :	Emilie RANNOU
Date du début de la thèse :	03/10/11
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LRTE
Financement de thèse :	IRSN/EDF
Directeur de thèse :	Jean-Christophe Sabourin/CHU Rouen
Tuteur de thèse :	Fabien Milliat
École doctorale :	Paris VI - Physiologie et physiopathologie - ED394

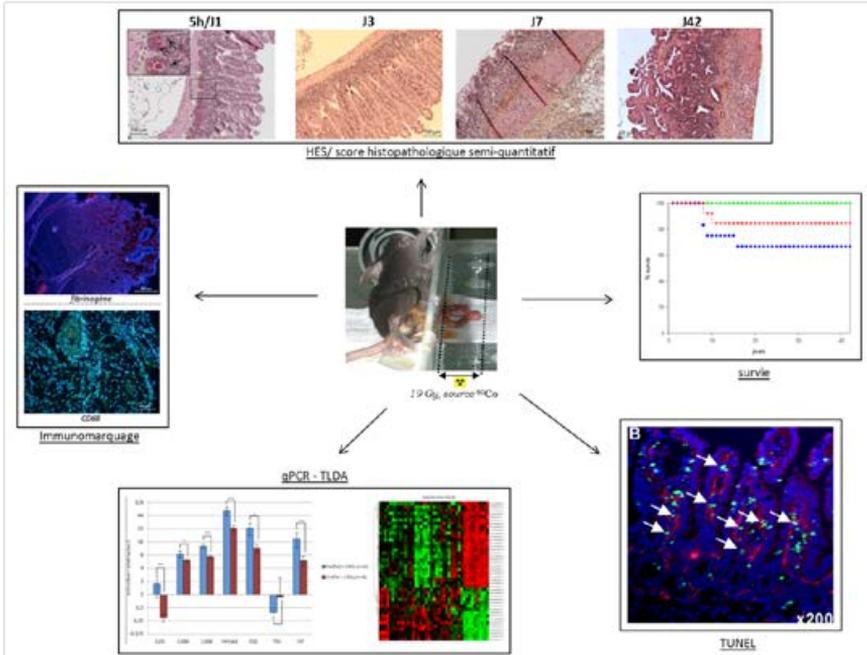
La radiothérapie est à ce jour un outil indispensable des traitements anticancéreux. Cependant, l'efficacité des rayonnements ionisants dans le traitement des cancers abdomino-pelviens est associée à l'apparition de lésions radio-induites aux tissus sains présents dans le champ d'irradiation. Il est admis que la réponse de l'intestin aux radiations est intégrée, et résulte de l'implication de l'ensemble des compartiments qui le compose. Parmi ces compartiments, l'endothélium vasculaire est décrit comme une composante déterminante du développement des dommages radio-induits, bien qu'aucune étude expérimentale ne relie la dysfonction endothéliale et la progression des lésions tissulaires radio-induites.

Dans ce contexte, il a été démontré au laboratoire que PAI-1 (Plasminogen Activator Inhibitor type 1), qui est principalement sécrétée par l'endothélium, est une protéine clé impliquée dans le développement et la chronicité des lésions intestinales radio-induites, et pourrait potentiellement établir un lien direct entre la dysfonction endothéliale et la progression des dommages radio-induits.

L'objectif de ce travail de thèse est donc d'étudier le rôle du pool endothélial de PAI-1 dans l'initiation et la progression des lésions intestinales radio-induites. Cette question est abordée grâce à l'utilisation de souris déficientes pour PAI-1 spécifiquement et exclusivement dans l'endothélium. L'utilisation de ces animaux dans un modèle d'irradiation localisée sur l'intestin nous a permis de mettre en évidence une augmentation de la survie après irradiation chez les souris déficientes pour PAI-1 dans l'endothélium. De plus, des différences dans la réponse transcriptionnelle radio-induite de l'intestin ont été démontrées chez ces mêmes souris, à différents temps post-irradiation. Ces premiers résultats suggèrent un rôle du pool endothélial de PAI-1 dans la mort radio-induite des cellules endothéliales, ainsi que dans les réponses immunitaires et inflammatoires liées à l'irradiation.

De futures expériences viendront prochainement étayer ces différentes hypothèses, telles que l'étude de la radiosensibilité des cellules endothéliales ainsi que l'analyse du recrutement des cellules immunitaires par marquages immunohistochimiques. L'ensemble des données obtenues lors de ces travaux nous permettront de mieux comprendre le rôle du pool endothélial de PAI-1 dans le développement des lésions intestinales radio-induites, et plus largement de mieux appréhender les mécanismes inhérents au développement de ces lésions.

STRATEGIE EXPERIMENTALE GLOBALE
 POUR L'ETUDE DU ROLE DU POOL ENDOTHELIAL DE PAI-1
 DANS LE DEVELOPPEMENT DES LESIONS RADIO-INDUITES



Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Christelle DURAND
Date du début de la thèse :	4/ 10/ 2010
Laboratoire :	SRBE/LRTE
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Marc Benderitter
Tuteur de thèse :	Alexandra Sémont
École doctorale :	Paris 6 / Physiologie et Physiopathologie

La radiothérapie permettant le traitement des cancers de la zone pelvienne peut être à l'origine de complications gastro-intestinales chroniques sévères et invalidantes. La douleur viscérale chronique, une de ces complications dégrade considérablement la qualité de vie des patients ; et, il n'existe aucun traitement permettant de la soulager. Suite à un traitement à titre compassionnel par thérapie cellulaire d'un des patients d'Epinal ayant reçu un surdosage d'irradiation, un effet analgésique des cellules souches mésenchymateuses (CSM) a été suggéré.

Dans ce contexte et en utilisant un modèle de rat d'ulcération colorectale radio-induite uni dose (27Grays), les objectifs de ma thèse ont été 1) de valider un modèle de douleur viscérale radio-induite chronique relevant, 2) d'évaluer le bénéfice potentiel d'un traitement utilisant les CSM et de participer à la compréhension de leur mécanisme d'action.

Pour réaliser ces études des tests de viscérosensibilité motrice, permettant d'évaluer l'hypersensibilité viscérale suite à des distensions colorectales et des marquages immuno histochimiques au niveau du système nerveux central (moelle épinière) et périphérique (muqueuse et sous muqueuse colique) ont été effectués.

Nos résultats montrent qu'une dose unique d'irradiation colorectale de 27 Grays induit une hypersensibilité viscérale chronique. Son développement est lié à la mise en place d'une neuroplasticité au niveau central et périphérique qui débute 4 semaines après l'irradiation. A ce temps, l'injection de $1.5 \cdot 10^6$ de MSC par voie intraveineuse reverse 1 semaine après le traitement l'allodynie observée chez des animaux irradiés. Dans notre étude l'hypersensibilité viscérale radio-induite est associée à une augmentation de l'inflammation et notamment à une augmentation du nombre et de l'état d'activation (dégranulation, libération de tryptase) des mastocytes. L'inhibition de la dégranulation mastocytaire suite à un traitement par du kétotifen effectué 4 semaines après l'irradiation et pendant une semaine, permet également de reverser l'allodynie radio-induite. L'augmentation de la quantité de tryptase observée après irradiation dans les fèces retourne à des niveaux équivalents à ceux des animaux contrôles une semaine après l'injection de CSM. L'ensemble de nos résultats suggèrent ainsi que la diminution de l'hypersensibilité viscérale induite par les CSM passerait au niveau périphérique par un processus impliquant la stabilisation mastocytaire.

Sujet de la thèse :

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

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

La tomodensitométrie représente une part majeure de l'exposition médicale collective aux rayonnements ionisants (RI). L'augmentation de la fréquence de recours aux examens et de l'exposition collective justifie la nécessité de la caractérisation des risques délétères potentiels à long terme. Une attention particulière est portée aux expositions pédiatriques, principalement en raison de la sensibilité des enfants aux RI et de leur espérance de vie compatible avec l'occurrence d'événements après de longues périodes de latence. Des études épidémiologiques récentes suggèrent une augmentation du risque de cancer parmi des populations exposées aux scanners. Dans ce contexte, l'IRSN a mis en place l'étude Enfant Scanner afin d'étudier le risque de cancer pour 130000 enfants ayant reçu des examens scanner en France.

Une reconstitution de la dose aux organes reçue lors des examens et une analyse de la variabilité des pratiques a été faite pour la période 2000-2011. A partir de ces données d'exposition, des prédictions de risque de cancers du système nerveux central, du sein, thyroïde et de leucémies associés aux examens ont été réalisées sur la base de coefficients de risque estimés dans d'autres populations. Cette démarche a permis d'étayer les risques potentiels de cancer en fonction des caractéristiques de l'examen et de la variabilité de pratiques radiologiques, et d'estimer le nombre de cas attendus dans la cohorte Enfant Scanner. Les incertitudes attachées à de telles extrapolations de risque ont été quantifiées par simulations.

Une analyse dose-réponse au sein de notre population d'étude est actuellement en cours à partir du suivi d'incidence durant les 12 premières années après exposition, pour apporter des résultats complémentaires aux précédentes estimations épidémiologiques et confronter les hypothèses d'évaluation de risque.

Mercredi 16 octobre
11h00-12h40

Session parallèle Sûreté

Neutronique-criticité, Réacteurs du futur, Méthodes numériques

Salle Almanarre

Président de session : Véronique ROUYER

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

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

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

Ghislain FERRAN, Méthodes avancées pour le traitement des données nucléaires

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Léticia BUSLIG
Date du début de la thèse :	18/10/2010
Laboratoire :	PSN-RES/SEMIA/LIMAR
Financement de thèse :	IRSN/région PACA
Directeur de thèse :	Jacques Liandrat - École Centrale Marseille
Tuteur de thèse :	Jean Baccou
École doctorale :	ED 184 Maths/info

La reconstruction de données joue un rôle important dans les études de sûreté puisque les données à analyser sont le plus souvent discrètes car obtenues via des mesures ponctuelles ou via un processus numérique. La reconstruction de données nécessite de modéliser les données et de planifier des expériences. Dans cette thèse, nous nous focalisons sur le second élément en se fixant une modélisation stochastique (Krigage).

La planification d'expérience doit permettre d'avoir suffisamment d'information sur le phénomène à reconstruire, mais en pratique le nombre d'observations est souvent limité par le temps de calcul (codes de calcul complexes) ou par le coût financier (capteurs de mesures). D'où l'intérêt de développer des méthodes de sélection efficace des expériences à produire.

Nous avons proposé une nouvelle méthode de planification adaptative d'expérience alliant la théorie du Krigage à des techniques d'optimisation. Son originalité vient d'abord de la flexibilité dans le choix d'un critère de planification à optimiser permettant, en fonction des objectifs de l'analyste, de raffiner localement (et donc d'améliorer la reconstruction) dans des zones d'intérêt (régions où la grandeur d'intérêt dépasse un seuil de danger par exemple). L'implémentation de cette méthode intègre une stratégie de réduction de coût de calcul qui son utilisation dans les applications industrielles.

La planification adaptative d'expérience peut entraîner des problèmes d'instabilité numérique qui rendent difficile voire impossible la résolution du système. Ces problèmes ont d'abord été résolus par l'ajout d'une variance d'erreur. Cependant, le choix heuristique de cette variance, peut modifier le problème et conduire à une solution erronée. Pour éviter d'avoir à faire ce choix, nous avons développé une procédure de stabilisation via la construction d'un préconditionneur diagonal. Cette dernière se base sur une représentation multi-échelles de l'opérateur de covariance obtenue en utilisant des schémas de subdivision monodimensionnels. Cette procédure de stabilisation nécessite de modifier la résolution du système matriciel : une résolution itérative à base de V-cycles a donc été proposée et a permis un gain (en terme de nombre d'itérations) d'un facteur 8500 par rapport aux méthodes classiques.

Les travaux futurs concernent l'évaluation complète des performances de la résolution par V-cycles ainsi que son extension au cas d'une grille non-régulière qui correspond aux situations pratiques. Il est également envisagé d'appliquer cette nouvelle

Sujet de la thèse :

Comportement des radio-contaminants dans les confinements d'un réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium en situation accidentelle.

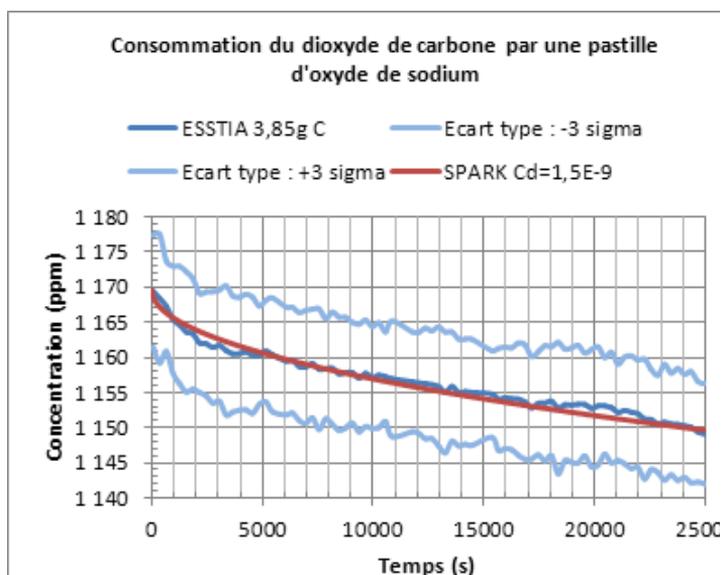
Doctorant :	Emmanuel MATHE
Date du début de la thèse :	10/08/2011
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/LETR
Financement de thèse :	AREVA
Directeur de thèse :	Denis PETITPREZ - PC2A
Tuteur de thèse :	Martin KISSANE
École doctorale :	Université Lille 1/sciences et technologie

Le réacteur nucléaire à neutrons rapides refroidi au sodium (RNR-Na) est de nouveau étudié en France notamment afin de répondre aux besoins de production d'énergie électrique à grande échelle et à long terme. Réétudier la sûreté des RNR-Na et estimer les conséquences d'un accident grave sont donc nécessaires. Une épreuve majeure pour la sûreté comprend une fuite importante de sodium dans l'enceinte de confinement où le sodium s'oxyderait et s'enflammerait produisant des quantités copieuses d'aérosols d'oxyde.

Au-delà des conséquences de surpression et de température, il est important d'analyser l'évolution physico-chimique de ces aérosols afin de suivre leur toxicité. De plus, cette analyse est une étape incontournable de l'analyse du terme source. L'évolution des aérosols n'ayant été que très peu étudiée, une modélisation crédible doit être proposée.

Après analyse de la littérature, le modèle de Cooper (1980) s'avère être le plus abouti. Cooper a modélisé l'évolution des aérosols en différentes couches d'oxyde, d'hydroxyde et de carbonates en fonction du temps et de l'atmosphère (H₂O, CO₂). Ce modèle s'appuie sur un modèle théorique du coefficient de diffusion des gaz à travers les couches solides de l'aérosol; ce coefficient dépend de deux paramètres ajustés sur quelques données expérimentales (modèle non validé).

Dans ce travail, des améliorations de modélisation ont été apportées (modélisation SPARK) ; néanmoins, davantage de données était vital et une expérience a donc été conçue (expérience ESSTIA) qui consiste à mesurer la consommation et la production des gaz réagissant avec une pastille de peroxyde de sodium. Les résultats générés permettent de mieux comprendre la phénoménologie complexe des transformations physico-chimiques de ces aérosols et permettront de réaliser et de valider un modèle plus fiable que l'unique modèle de Cooper.



Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Clément CHEVALIER
Date du début de la thèse :	01/11/2010
Laboratoire :	PSN/SNC/LNC
Financement de thèse :	IRSN et Consortium ReDice
Directeur de thèse :	Prof. Lutz Dümbgen (Université de Berne)
Tuteur de thèse :	Yann Richet (IRSN) et David Ginsbourger (Unibe)
École doctorale :	Université de Berne

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

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

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

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

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

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

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

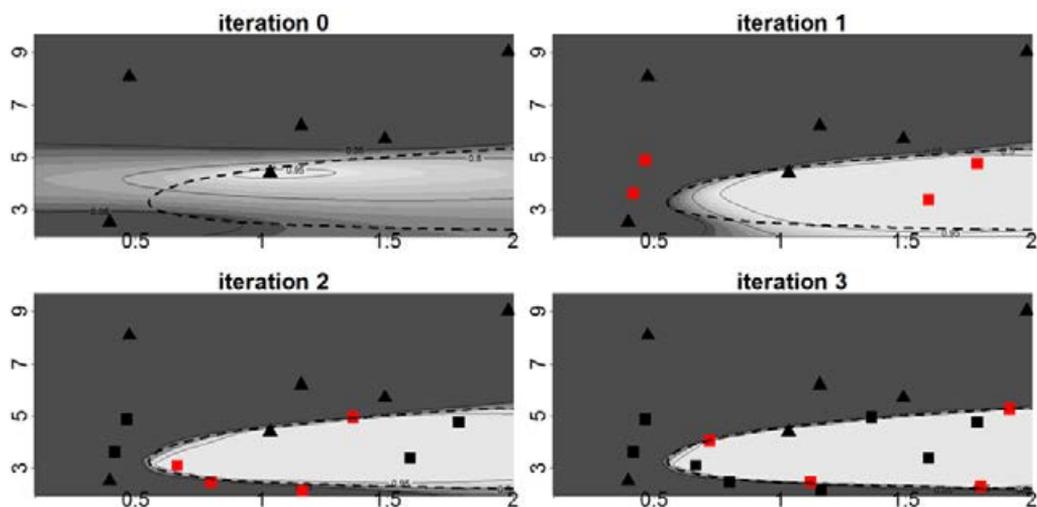


Figure: 3 itérations d'une stratégie parallèle qui vise à retrouver l'ensemble d'excursion (délimité par les pointillés) d'une fonction de deux variables.

Sujet de la thèse :
Méthodes numériques avancées pour le traitement des données nucléaires.

Doctorant :	Ghislain FERRAN
Date du début de la thèse :	01/10/2012
Laboratoire :	PSN-EXP/SNC/LNR
Financement de thèse :	Corps des Ponts, Eaux et Forêts
Directeur de thèse :	Michel Gonin - Polytechnique, LLR
Tuteur de thèse :	Wim Haeck
École doctorale :	École Doctorale de l'École Polytechnique

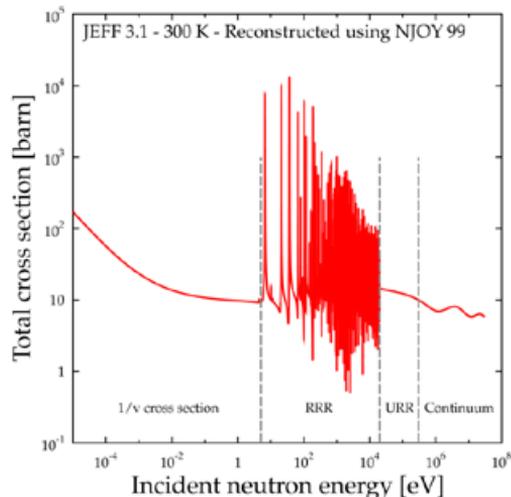
Les données nucléaires dont il est question ici sont les sections efficaces, qui représentent la probabilité qu'une réaction nucléaire donnée ait lieu entre un neutron incident et un noyau cible. Ces sections efficaces sont au cœur des calculs de neutronique, et donc de la démarche de sûreté.

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

Des logiciels existent pour effectuer ce traitement, par exemple NJOY et PREPRO. Ils ont l'inconvénient d'utiliser des méthodes numériques un peu datées, et d'être très dépendants du format ENDF qui ne correspond plus aux besoins modernes et est en passe d'être remplacé. De plus, ces codes sont américains, et l'accès aux sources peut être difficile. C'est pourquoi l'IRSN veut se doter de son propre code de traitement des données nucléaires, appelé GAIA. De plus réaliser un tel outil permet de maîtriser toutes les étapes du traitement. Mes travaux de thèse sont réalisés dans ce cadre.

La première étape de mes travaux a été de reconstruire les sections efficaces dans le domaine des résonances, qui correspondent aux pics de la figure ci-dessous. À partir des paramètres donnés dans les fichiers ENDF, GAIA reconstruit les résonances en utilisant le formalisme le plus général possible, ce que ne font ni NJOY, ni PREPRO. La seconde étape a été le calcul de l'effet Doppler résultant de l'agitation thermique du noyau cible. Ce calcul a été fait par diverses méthodes originales, notamment en utilisant les transformées de Fourier. La comparaison des résultats obtenus avec le code NJOY montre un accord satisfaisant.

La suite du travail de thèse sera la linéarisation des sections efficaces obtenues, et la prise en compte de la dépendance angulaire des sections.



**Mercredi 16 octobre
14h00-15h40**

Session Sûreté

Salle Almanarre

Président de session : Thierry BOURGOIS

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

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

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

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

Sujet de la thèse :

Étude expérimentale et de modélisation des longueurs de bon mélange.

Doctorant :

Jonathan ALENGRY

Date du début de la thèse :

03/11/2010

Laboratoire :

PSN-RES/SCA/LEMAC

Financement de thèse :

TAF

Directeur de thèse :

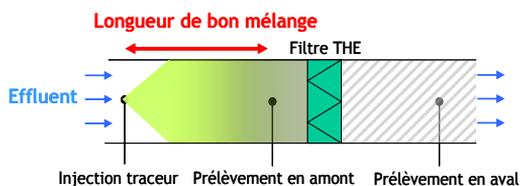
Olivier VAUQUELIN - IUSTI

Tuteur de thèse :

Thomas GELAIN

École doctorale : Université Aix-Marseille/Sciences pour l'ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique

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



A l'origine de cette étude, une norme française, NFX 10-141 (1982), est censée garantir l'établissement de ces longueurs en proposant des lois a priori semi-empiriques. Cependant, certains paramètres ne sont pas clairement explicites aucune référence n'est précisée.

L'objectif de cette thèse est donc d'élaborer des modèles permettant d'évaluer ces longueurs de bon mélange en intégrant au mieux les phénomènes physiques conduisant au mélange homogène turbulent et en se basant ou en les validant sur les résultats obtenus sur le banc expérimental associé.

Dans un premier temps, un état de l'art a permis d'identifier des auteurs qui se sont intéressés à cette problématique. Ces travaux, qui semblent avoir inspiré la norme, s'attachent à évaluer l'influence de l'écoulement (Evans, 1968) ou des conditions d'injection (Ger & Holley, 1976) sur le mélange d'un traceur dans un conduit cylindrique droit et lisse. Ils ont ainsi proposé des modèles semi-empiriques basés sur l'équation de convection-diffusion d'un scalaire passif dans un écoulement turbulent.

Sur la base de ces études, nous avons pu proposer notre propre modèle analytique, que nous avons validé sur la base des résultats expérimentaux obtenus sur BOREAL (Banc Optique pour la Réalisation d'Études Appliquées aux Longueurs de bon mélange). Ainsi, BOREAL a été mis en œuvre afin de mesurer l'évolution de la distribution de la concentration d'un traceur particulaire dans un conduit, par le biais d'un diagnostic Laser.

BOREAL a donc été dimensionné pour reproduire des écoulements représentatifs des installations dans deux géométries différentes (cylindrique et rectangulaire), avec la présence d'une singularité (coude), et avec la possibilité de changer les conditions d'injection (position, vitesse).

Les résultats expérimentaux, ainsi que les modèles développés au cours de ces trois années, seront présentés.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Loïc COQUELIN
Date du début de la thèse :	01/06/2010
Laboratoire :	PSN-RES/SAC/LPMA
Financement de thèse :	IRSN / LNE
Directeur de thèse :	es Fleury - SUPELEC
Tuteur de thèse :	François Gensdarmes
École doctorale :	Paris XI - STITS, ED422

Le SMPS, appareil couramment utilisé à l'IRSN pour caractériser les aérosols dans les installations ou l'environnement, sélectionne et détecte les particules avec un analyseur de mobilité différentielle (DMA) et un compteur à noyaux de condensation (CNC). Le résultat brut d'une mesure est le comptage des particules en fonction du temps. Estimer la granulométrie en nombre de l'aérosol à partir des mesures CNC revient à considérer un problème inverse sous incertitudes.

Une revue des modèles existants pour représenter les comptages CNC en fonction de la granulométrie en nombre de l'aérosol est présentée dans le premier chapitre de cette thèse et cette analyse bibliographique montre l'existence de théories concurrentielles pour modéliser la physique intervenant lors du processus de mesure. Dans le même temps, cette revue de littérature révèle la nécessité de considérer l'incertitude qu'elle soit paramétrique ou fonctionnelle.

Pour effectuer l'estimation de la granulométrie en nombre, un nouveau critère qui couple les techniques de régularisation et de la décomposition sur une base d'ondelettes est décrit. La régularisation est largement utilisée pour résoudre des problèmes mal posés. La solution régularisée étant calculée comme un compromis entre la fidélité aux données et l'*a priori* sur la solution à reconstruire, le compromis étant représenté par un scalaire connu sous le nom de paramètre de régularisation. Néanmoins, lorsque la granulométrie à estimer présente à la fois des profils à variations lentes et des profils à variations rapides, un *a priori* homogène sur toute la gamme de reconstruction ne convient plus. La nouveauté des travaux présentés réside dans l'estimation de ce type de granulométries. L'approche multi-échelle que nous proposons pour la définition du nouveau critère de régularisation est une alternative qui permet d'ajuster les poids de la régularisation sur chaque échelle du signal. Les résultats montrent que les estimations proposées par la méthode développée sont meilleures que les estimations classiques, aussi bien en termes de variance que de biais.

La dernière étape de ces travaux réside dans la propagation des incertitudes à travers la procédure d'inversion. Les sources d'incertitude sont réunies en deux groupes différents, l'un appelé la dispersion expérimentale et le second nommé le manque de connaissances.

Contrairement à l'approche standard qui utilise un modèle fixe pour l'inversion en faisant porter toute l'incertitude sur les entrées, nous proposons d'utiliser un modèle d'inversion aléatoire obtenu par tirage aléatoire des éléments du second groupe. Les simulations de Monte-Carlo permettent alors de déduire une estimation moyenne de la granulométrie en nombre de l'aérosol à l'étude et un intervalle de confiance associé. La méthodologie est finalement éprouvée sur des mesures réelles d'aérosols constitués de gouttelettes de SiO₂ et de DEHP (huile). Les résultats révèlent que la principale source d'incertitude provient du manque de connaissance pour la définition du modèle physique.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Damien BOUFFLERS
Date du début de la thèse :	21/11/2011
Laboratoire :	UMR CNRS/Université (UMR 8522)/PC2A et PSN-RES/SA2I/LIE
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Abderrahman EL BAKALI-PC2A
Tuteur de thèse :	Laurence RIGOLLET
École doctorale :	Université Lille 1

Dans le cadre de cette thèse, les travaux s'inscrivent dans une problématique d'incendie et ceci plus particulièrement dans une installation nucléaire. La vitesse de propagation de l'incendie ainsi que l'agression thermique de l'environnement sont directement liées aux propriétés radiatives de la flamme, elles-mêmes dépendantes de la quantité de suies produites lors de la combustion. Or, les mécanismes de production des suies sont encore mal connus notamment pour les combustibles lourds. Par ailleurs, les situations d'incendie présentent localement des conditions de combustion où combustible et comburant se mélangent dans des proportions variables, principalement sous l'effet de la turbulence. Afin d'améliorer la prédiction de la quantité de suies dans les codes de calcul d'incendie, il est nécessaire de disposer au préalable d'un mécanisme chimique détaillé capable de rendre compte de la formation des précurseurs de suies, constitués notamment par les hydrocarbures poly-aromatiques (HAP) et ce, pour différentes proportions de mélange combustible/comburant et à différentes pressions.



Flamme plate de prémélange atmosphérique de n-butane $\Phi=2.16$

Pour cela, la structure chimique d'une flamme plate de prémélange suitée de n-butane $n\text{-C}_4\text{H}_{10}/\text{O}_2/\text{N}_2$ stabilisée à deux richesses ($\Phi=2.16$ $\Phi=2.32$) et à pression atmosphérique, a été déterminée au moyen d'un système d'échantillonnage par microsonde en quartz couplé avec une technique d'analyse par chromatographie gazeuse. Cela a conduit à la détermination de la fraction molaire des réactifs ainsi que la fraction molaire des hydrocarbures C1 jusqu'à C7 (du méthane au toluène), en prélevant les espèces chimiques le long de l'axe de la flamme.

Les données expérimentales obtenues ont révélé que les espèces oléfines étaient insensibles à la variation de richesse dans nos conditions d'études alors que les alcynes en C3 et C4, considérés comme des précurseurs des radicaux propargyls, ont une augmentation de leurs maximum de fraction molaire du même ordre de grandeur que celle du benzène et du toluène. Cette observation suggère une prédominance d'une auto-recombinaison du radical propargyl dans la formation du premier cycle aromatique.

Les mesures des profils de température et de fraction molaire d'un HAP lourd permettront de compléter le travail de modélisation en cours. La modélisation devrait fournir des informations quantitatives précises sur le processus cinétique postulé en particulier pour le benzène. Le mécanisme développé sera ensuite utilisé avec un code de suie basé sur la méthode des moments et permettra ainsi de tester sa capacité à prédire les profils de fraction volumique de suie.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Simon DELCOUR
Date du début de la thèse :	03/10/2011
Laboratoire :	PSN-RES/SCA/LPMA
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	José-Marie Lopez-Cuesta - École des Mines d'Alès
Tuteur de thèse :	François-Xavier Ouf
École doctorale :	Mines-ParisTech / ED SFA

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

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

Cette présentation détaille un modèle en cours de développement, qui s'appuie sur un code de calcul de la dégradation thermique d'un polymère (ThermaKin). Ce code permet de déterminer l'évolution temporelle des paramètres de la dégradation thermique (perte de masse et profil de température). A partir de ces données, le modèle représente la distribution des bulles sur la surface, ainsi que l'évolution temporelle et spatiale d'un dépôt de particules perturbé par ces bulles. Des résultats préliminaires ont été obtenus, mais la comparaison avec l'expérience est difficile car la mesure expérimentale de la cinétique d'émission s'avère délicate.

En parallèle du développement de ce modèle, un dispositif expérimental, (baptisé ARTEMIS - Appareil de déGRadation Thermique pour l'Étude de la Mise en Suspension) a été conçu et réalisé, afin de mesurer de la manière la plus précise possible la cinétique d'émission des particules. L'objectif de cette installation est de fournir des données fiables de fractions remises en suspension et de cinétiques d'émission pour différents scénarios de combustibles et de contamination.

**Mercredi 16 octobre
15h40-17h00**

Session parallèle Radioprotection

Effets des faibles doses de rayonnements ionisants en situation d'exposition

Salle Levant

Président de session : Denis BOULAUD

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

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

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

Sujet de la thèse :

Étude transgénérationnelle des altérations de l'ADN et de leurs conséquences sur les traits d'histoire de vie chez *Daphnia magna* exposée à de l'uranium appauvri.

Doctorant :	Delphine PLAIRE
Date du début de la thèse :	18/10/2010
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/LECO
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Jean-Christophe Poggiale Université Aix-Marseille
Tuteur de thèse :	Frédéric Alonzo
École doctorale :	ED 251 Sciences de l'environnement

Comprendre comment les polluants affectent les espèces à différents niveaux d'organisation biologique est un enjeu majeur à la fois en écotoxicologie et en radioécologie. Dans le cadre du programme ENVIRHOM visant à évaluer les risques écologiques liés à la présence de radionucléides dans l'environnement, ce travail de thèse a pour objectif d'explorer les altérations de l'ADN et leurs conséquences potentielles pour la survie, la croissance et la reproduction d'un invertébré aquatique, la Daphnie, exposé à de l'uranium appauvri.

La démarche expérimentale vise à évaluer l'accumulation et la transmission des altérations de l'ADN suite à une exposition à l'uranium sur deux générations successives (F0 et F1). Différents scénarios d'expositions (exposition continue, post-éclosion et embryonnaire) sont mis en place pour tester la sensibilité spécifique de différents stades de vie. Les effets génotoxiques sont estimés à l'aide d'une technique d'amplification aléatoire de l'ADN couplée à la PCR (PCR-RAPD).

Lors d'expositions continue et post-éclosion (Figure 1), les résultats mettent en évidence une accumulation et une transmission des dommages à l'ADN au fil des générations en parallèle d'une augmentation de la sévérité des effets. Les altérations de l'ADN sont reportées dès l'éclosion de la génération F1 à une concentration de 2 µg.L⁻¹. Les effets sur la croissance et la reproduction sont plus sévères lorsque le stade embryonnaire est exposé et restent visibles à partir de 9,9 µg.L⁻¹ malgré un retour en milieu non contaminé à l'éclosion. Les résultats suggèrent que les dommages à l'ADN pourraient être des indicateurs précoces de futurs effets sur les traits d'histoire de vie.

Sur la base des résultats expérimentaux, une approche mécanistique a été faite à l'aide du modèle DEBtox (dynamique de budget énergétique) afin de mieux comprendre les causes de l'aggravation des effets d'une génération à l'autre. Les ajustements suggèrent la présence de deux modes d'action pour expliquer les effets immédiats de l'uranium sur la nutrition et les conséquences des dommages accumulés au fil des générations. Dans le but de valider le modèle, les données des travaux de thèse de Massarin (2010) correspondant également à une exposition multigénérationnelle de *Daphnia magna* à de l'uranium sont utilisées.

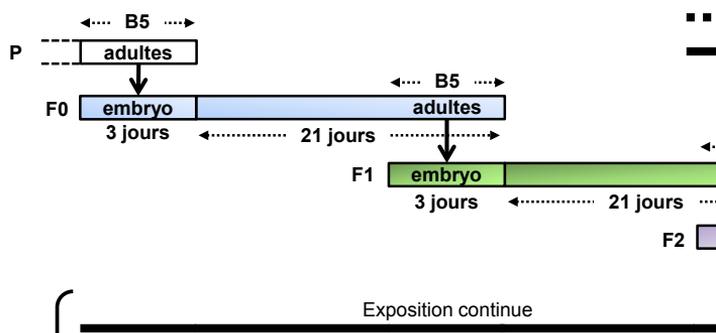


Figure 1: Design expérimental

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Guillaume BUCHER
Date du début de la thèse :	03/11/2010
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/L2BT
Financement de thèse :	IRSN 50% / Région Aquitaine 50%
Directeur de thèse :	Ryszard Lobinski
Tuteur de thèse :	Sandrine Frelon et Sandra Mounicou
École doctorale :	Sciences exactes et leurs applications (ED211) Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Cette étude s'inscrit dans un contexte d'évaluation des risques chroniques après exposition d'organismes aquatiques aux radionucléides, réalisée à l'IRSN depuis 2001 dans le cadre du programme ENVIRHOM. Elle se rattache au projet ST MALO (SpeciaTion of uranium in Aquatic Living Organisms - Analytical Developments ; ANR-10-JCJC-0713) ayant pour objectif le développement de méthodes analytiques permettant la caractérisation in vivo des biomolécules cibles de l'uranium dans des organismes aquatiques après différentes conditions d'exposition.

L'objectif de cette thèse porte sur l'étude de la compartimentalisation cellulaire et de la prise en charge de l'uranium (U) par les protéines cytosoliques des cellules branchiales du poisson zèbre (*Danio rerio*, espèce modèle en toxicologie aquatique) après exposition contrastées (chronique vs. aiguë, 20 et 250 $\mu\text{g.L}^{-1}$) par voie directe. Cette étude a nécessité le développement, l'utilisation et le couplage d'outils analytiques de pointe (SEC, IEF hors-gel, RP-UHPLC pour la séparation, ICP-SFMS, ESI-FIMS pour la détection) avec comme défis majeurs la conservation des interactions non-covalentes U biomolécule et une sensibilité optimum pour travailler à des niveaux d'exposition proches de ceux de l'environnement. Après extraction, 24 à 32% de la charge branchiale totale en U est contenue dans le cytosol dans lequel la distribution de l'U sur les biomolécules (en fonction de leur PM mais aussi de leur pl) diffère selon le niveau d'exposition. Enfin, une cartographie (Figure 1) des biomolécules cibles de l'U a permis (i) de mettre en évidence une affinité particulière de l'U pour les protéines à caractère acide et/ou contenant du phosphore et (ii) d'identifier 24 candidates pour lier U.

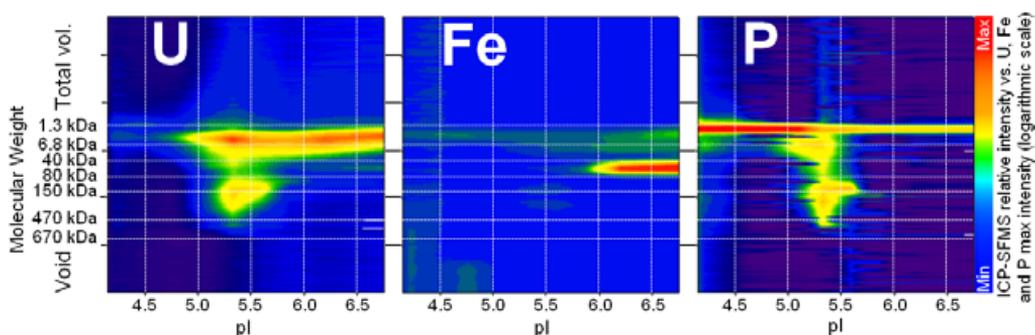


Figure 1 : Cartographie bidimensionnelle (point isoélectrique / poids moléculaire) du pool de biomolécules du cytosol d'épithélium branchial de *Danio rerio* exposé à 250 $\mu\text{g.L}^{-1}$ d'uranium appauvri durant 3 jours.

Sujet de la thèse :

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

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

En environnement marin, les organismes vivants sont exposés en continu à de faibles doses de contaminants d'origine anthropique, notamment dans le Nord Cotentin, aux radionucléides émis sous contrôle par l'industrie nucléaire. Comprendre et évaluer les effets chroniques de faibles doses de rayonnements ionisants sur la vie marine représente aujourd'hui un enjeu de premier ordre pour la protection de l'environnement. L'huître japonaise *Crassostrea gigas* a été retenue comme modèle biologique pour évaluer en milieu contrôlé l'impact potentiel des rayonnements ionisants sur les animaux marins. Ces travaux ont fait l'objet d'une approche ciblant conjointement des marqueurs de stress à des niveaux intégrés et moléculaires.

La conception de dispositifs expérimentaux originaux a permis de suivre en laboratoire la croissance d'un grand nombre de larves et naissains. Par ailleurs, une approche éco-génotoxicologique a été menée chez des individus suffisamment âgés pour isoler des hémocytes. En parallèle, le taux de filtration, ainsi que le niveau d'expression transcriptionnelle de 9 gènes ciblés impliqués dans la régulation de l'organisme au stress, ont été mesurés. L'étude des effets chimiques et radiologiques des radionucléides a été réalisée au cours de contaminations internes en Américium 241 tandis que celle portant sur les effets radiologiques seuls a été abordée lors d'expositions externes à une source de Césium 137 d'une part, et internes à de l'eau tritiée d'autre part. La durée des expositions était de deux semaines afin de se rapprocher des conditions environnementales.

Les résultats mettent en évidence la forte radiorésistance des huîtres, et particulièrement celle des stades précoces de développement, après des expositions à des débits de dose supérieurs de plusieurs ordres de grandeurs aux débits de dose susceptibles d'être rencontrés dans l'environnement naturel. Néanmoins, une augmentation du niveau de dommages de l'ADN, apparemment sans conséquence physiologique à court terme, a été révélée à des débits de dose plus faibles, de l'ordre de $10 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$. Ces travaux suggèrent nettement l'existence de mécanismes de régulation capables de prendre en charge le stress radio-induit dès les premiers jours de vie de l'huître. Des interrogations subsistent quant aux conséquences à long terme des dommages à l'ADN sur les niveaux d'organisation biologique supérieurs. Le taux de mutation est une prochaine cible d'étude.

Mercredi 16 octobre
15h40-17h20

Session parallèle Sûreté

Accidents graves

Salle Almanarre

Président de session : Georges HACHE

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

Romain VANDEPUTTE, Étude théorique du rôle du bore sur le comportement de l'iode dans le circuit primaire d'un réacteur

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

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

Sujet de la thèse :

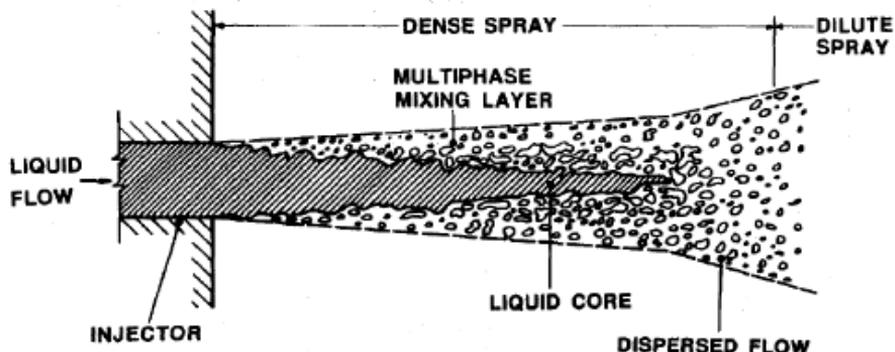
Contribution à l'étude du rejet à l'environnement de l'iode radioactif lors d'une séquence accidentelle de type RTGV.

Doctorant :	Adrien CARTONNET
Date du début de la thèse :	15/10/10
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/LETR et PC2A - université de Lille
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Jean-François PAUWELS /CNRS Lille & Laurent GASNOT /Université de Lille I
Tuteur de thèse :	Frédéric COUSIN
École doctorale :	Université Lille 1 Sciences et Technologies/SMRE ED104

Dans une séquence de rupture de tube(s) de générateur de vapeur d'un réacteur à eau pressurisée (séquence RTGV), une fraction des espèces radioactives (produits de fission et produits d'activation) présentes dans le circuit primaire est susceptible d'être transférée à l'environnement via la vanne de contournement de la turbine (GCTA). Parmi ces espèces, on porte une attention particulière aux espèces iodées qui sont les plus dangereuses à court terme pour la population.

En fonctionnement normal, le circuit primaire est pollué par des produits de fission radioactifs à cause de micro fissures qui se développent dans les gaines des crayons combustible. C'est la raison pour laquelle, dans les réacteurs REP, le circuit secondaire est dissocié du circuit primaire, les tubes du générateur de vapeur constituant la deuxième barrière de confinement. Lors d'un transitoire accidentel, les contraintes thermo mécaniques au niveau des gaines induisent un accroissement du relargage des produits de fission vers le circuit primaire (pic d'iode). Il est primordial pour les études de sûreté de déterminer la répartition des espèces iodées (en particulier) entre la phase gaz et la phase liquide en aval de la brèche et dans le circuit secondaire et de plus, pour l'iode contenu dans la phase liquide, de déterminer la granulométrie des gouttes. Ces données sont en effet essentielles pour évaluer d'une part le rejet en phase gaz par la vanne GCTA et d'autre part le rejet en phase liquide par la même vanne ainsi que la contamination éventuelle de tout le circuit secondaire. L'exploitant est tenu de fournir ce type d'évaluation à l'autorité de sûreté.

L'objectif de ce travail de thèse est d'améliorer cette estimation par le développement d'une modélisation argumentée et confrontée à des données expérimentales. Cette modélisation doit respecter deux contraintes. D'une part, elle doit être utilisable dans un code de calcul d'accident (le code ASTEC de l'IRSN) qui gère toute la description du réacteur pendant la séquence accidentelle. Au regard de la complexité des phénomènes traités, ce type de code est un ensemble de modules interconnectés dont la présente modélisation constitue un des modules. Il est donc hors de question de développer une description complètement mécaniste. D'autre part, cette modélisation doit rendre compte de tous les paramètres essentiels du problème.



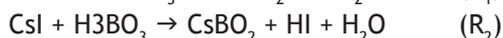
Ce travail s'articule donc essentiellement en deux parties. Une partie consiste en l'étude de la modélisation du flashing (séparation liquide vapeur à la brèche). Une seconde partie est consacrée à la modélisation de la spéciation chimique de l'iode dans le circuit primaire et à la détermination des coefficients de partage des espèces volatiles de l'iode. Dans l'approche actuelle d'ASTEC, le transfert de l'iode à la phase gaz est directement déterminé par la connaissance du taux de flashing et du coefficient de partage thermodynamique. Une troisième partie est consacrée à des exemples d'évaluation de rejets pour différentes séquences accidentelles.

Sujet de la thèse :

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

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

Dans le cadre d'un accident nucléaire majeur, les produits résultant de la dégradation des barres de contrôle sont susceptibles d'influencer le transport de l'iode dans le Circuit Primaire (CP) d'un Réacteur à Eau Pressurisée (REP) comme l'atteste les résultats du programme PHEBUS-PF. Trois essais expérimentaux PHEBUS-PF (FPT0, FPT1 et FPT2) ont été réalisés en présence de barres de contrôle en Argent-Indium-Cadmium (AIC) et un essai PHEBUS-PF (FPT3) avec des barres de contrôle constituées de carbure de bore (B_4C). Lors de l'essai FPT3 une fraction beaucoup plus importante d'iode gazeux à la brèche a été observée. Il est suspecté que la formation de CsI soit limitée au profit de composés de type $Cs_xB_yO_z$ (en particulier le métaborate de césium $CsBO_2$). Les résultats de cette thèse doivent apporter ou consolider des données de type thermochimique concernant les borates de césium qui sont mal connues dans la littérature et des données d'ordre cinétique concernant les réactions (R1) et (R2) conduisant à la formation du $CsBO_2$:



Afin de mieux comprendre l'interaction du $CsBO_2$ avec l'eau en phase gazeuse, une étude de microsolvatation du $CsBO_2$ a également été entreprise. L'ensemble de ces données seront intégrées dans le code de simulation des accidents graves ASTEC (Accident Source Term Evaluation Code), et permettront à l'aide des modèles enrichis d'interpréter les essais analytiques réalisés en support à l'interprétation des essais PHEBUS-PF. Un des moyens pour accéder à ces grandeurs thermocinétiques consiste à associer des outils de chimie quantique, la thermodynamique statistique et les théories cinétiques appropriées.



Les données thermochimiques ont été déterminées à partir de paramètres moléculaires estimés aux niveaux de théorie : (i) pour l'étude thermochimique : B3LYP/aug-cc-pVnZ//B3LYP/cc-pVTZ, B3LYP/aug-cc-pVnZ//B3LYP/aug-cc-pVTZ ($n = T, Q, 5$) (ii) pour la microsolvatation de $CsBO_2$: B3LYP/aug-cc-pVnZ//B3LYP/aug-cc-pVDZ ($n = D, T, Q$) (iii) pour l'étude cinétique : CCSD(T)/6-31G(d,p)//MP2/6-31G(d,p), CCSD(T)/6-311++G(d,p)//MP2/6-31G(d,p) et CCSD(T)/6-311++G(3df,2p)//MP2/6-31G(d,p). Dans tous les cas, l'atome de césium a été décrit par le pseudopotentiel ECP46MDF développé Lim *et al.* Dans le cas de l'étude cinétique, l'atome d'iode est décrit par la base d'orbitales atomiques SV4P. Les résultats seront présentés et comparés avec les données disponibles dans la littérature.

Sujet de la thèse :

Modélisation du phénomène de corrosion des gaines de zircaloy-4 sous mélanges oxygène-azote à 850°C.

Doctorant :	Marina LASSERRE
Date du début de la thèse :	09/11/2010
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/LESAM
Financement de thèse :	AREVA
Directeur de thèse :	Michèle Pijolat (École des Mines de Saint Etienne)
Tuteur de thèse :	Olivia Coindreau
École doctorale :	École Nationale Supérieure des Mines/ SPIN-EMSE

Les gaines de Zy4, contenant les pastilles d'uranium, assurent la première barrière de confinement d'un Réacteur à Eau Pressurisée. Plusieurs situations accidentelles au cours desquelles les gaines de crayons combustibles sont exposées l'air à haute température ont été envisagées. Ces situations peuvent se produire suite à la formation d'une brèche dans la cuve du réacteur en opération, durant les opérations de maintenance (arrêt de tranche), en cas de dénoyage des piscines de désactivation ou d'entreposage ou durant les situations dégradées de transport. La température des assemblages combustibles, privés de leur refroidissement, augmente considérablement et entraîne la dégradation de la gaine. Lors des événements de la centrale de Fukushima Dai-ichi, on a redouté que la vidange d'une piscine de stockage de combustibles usés ne soit à l'origine de l'explosion d'hydrogène survenue à 6h du matin le 15 mars 2011. Des études récentes ont montré que ce scénario n'a pas eu lieu mais a mis en exergue l'importance d'étudier une telle situation afin de pouvoir la prédire. En effet, l'azote généralement utilisé en tant que gaz inerte, ne l'est pas du tout lorsqu'il est mélangé à l'oxygène à haute température. Comparé à une atmosphère sous oxygène seul ou sous vapeur d'eau, l'azote présent dans l'air est à l'origine de la dégradation catastrophique de la gaine et pourrait entraîner le relâchement de produits de fissions fortement nocifs et radiotoxiques pour l'environnement.

Les courbes cinétiques obtenues par la technique de thermogravimétrie révèlent la présence de deux domaines : le domaine pré-transitoire et le domaine post-transitoire. Le domaine pré-transitoire est caractérisé par la croissance d'une couche d'oxyde dense qui « protège » la gaine : la vitesse de corrosion, qui diminue avec le temps, est contrôlée par la diffusion des lacunes d'oxygène au sein de la zircone dense. Durant le domaine post-transitoire, il n'y a plus d'effet protecteur de la zircone et la vitesse de corrosion augmente. L'azote provoque la dégradation accélérée du Zy4 mais, à ce jour, le mécanisme de corrosion n'a pas été identifié et constitue l'objet de nos recherches. Notre étude cinétique est faite sur des plaquettes de Zy4 à 850°C sous mélanges oxygène-azote. A l'aide des courbes cinétiques et de différentes techniques de caractérisation, nous avons pu mettre en évidence un mécanisme d'auto-catalyse par le nitrure de zirconium (ZrN) puisque cette phase apparaît puis disparaît au fur et à mesure de la croissance d'une zone attaquée. Suite à la validation des hypothèses de modélisation (tests de stationnarité et du « $\Phi.Sm$ ») et par analogie avec les modèles de germination-croissance utilisés dans le cadre de la transformation thermique des poudres, nous avons pu également établir une loi de vitesse durant le domaine post-transitoire. A terme, l'objectif est d'intégrer le modèle dans le code accident grave ASTEC (Accident Source Term Evaluation Code), afin de prévoir la vitesse à laquelle la gaine s'oxyde sous air, la chaleur dégagée par la réaction et le délai avant la rupture de la première barrière de confinement.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :

Paul SAPIN

Date du début de la thèse :

29/11/2010

Laboratoire :

PSN-RES/SAG/LESAM

Financement de thèse :

IRSN

Directeur de thèse :

Marc Prat - Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT)

Tuteur de thèse :

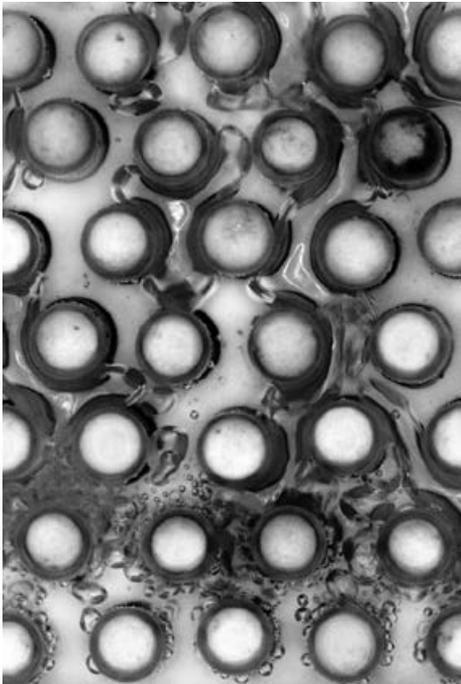
Florian Fichot

École doctorale :

Université de Toulouse/MEGeP

A la suite d'un dysfonctionnement de longue durée sur le circuit de refroidissement d'un réacteur à eau pressurisée, la puissance résiduelle, habituellement évacuée grâce à la circulation du fluide caloporteur, provoque l'évaporation de l'eau, l'assèchement puis la dégradation des crayons de combustible. Il peut en résulter la formation d'un lit de débris chaud, assimilable à un milieu poreux constitué de fragments de combustible dégageant une puissance thermique importante. Le renoyage du cœur peut permettre un refroidissement efficace, à condition qu'une source d'eau soit disponible. La mise en contact de l'eau avec les éléments surchauffés engendre des mécanismes d'ébullition intense qu'il convient de modéliser proprement pour estimer les chances de succès du renoyage.

Cette étude de l'ébullition en masse dans un milieu poreux modèle vise à caractériser expérimentalement les échanges de chaleur à l'échelle du pore en fonction des caractéristiques de l'écoulement local lors d'un renoyage. Pour cela, un milieu poreux bidimensionnel formé de 392 cylindres (2mm de diamètre) disposés aléatoirement entre deux plaques a été réalisé. Chaque cylindre constitutif de ce milieu poreux est une sonde RTD (Resistance Temperature Detector) utilisée non seulement comme élément chauffant mais également comme sonde de température. Chacun de ces éléments est relié à un système microélectronique d'asservissement qui contrôle et mesure en temps réel le flux de chaleur transmis au cylindre ainsi que sa température.



Le dénoyage et le renoyage de ce milieu sont étudiés avec un fluide Fluorinert (HFE7000, température de saturation de 34°C) ; cela permet l'observation de tous les régimes d'ébullition et de la crise d'ébullition avec des contraintes thermiques modérées. La plaque supérieure étant transparente, la visualisation nous fournit la distribution des phases au sein du poreux (cf. figure). L'acquisition d'images et les mesures thermiques permettent ainsi de caractériser l'échange de chaleur effectif en fonction du régime d'ébullition. En d'autres termes, il est possible de proposer l'équivalent de la courbe de Nukiyama pour un milieu poreux. Cela fournit des indications qualitatives et quantitatives sur les corrélations à adopter dans les modèles macroscopiques à non équilibre thermique local fréquemment utilisés pour modéliser le processus de renoyage.

Figure - Visualisation d'ébullition au sein du milieu poreux générant des doigts de vapeur

**Mercredi 16 octobre
18h00-19h20**

Session Géosphère

Stockage des déchets, aléas sismique

Salle Almanarre

Président de session : François BESNUS

Camille CHAUTARD Bioréactivité fer-argile en condition de stockage

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

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

Sujet de la thèse :

Bio-réactivité fer/argile en condition de stockage géologique : expérimentations et modélisations.

Doctorant :

Camille CHAUTARD

Date du début de la thèse :

27/07/1986

Laboratoire :

PRP-DGE/SEDRAN/BERIS

Financement de thèse :

CEA/IRSN

Directeur de thèse :

Laurent de Windt - Écoles des Mines de Paris

Tuteur de thèse :

François Marsal

École doctorale :

GRN

La présente étude s'inscrit dans le cadre des activités de recherche menées par l'IRSN et le CEA sur le stockage géologique de déchets radioactifs en formation argileuse et porte sur les interactions entre deux types de matériaux susceptibles d'être mis en jeu au sein d'un alvéole de stockage de déchets de haute activité (HA) : les matériaux métalliques en acier au carbone constituant notamment le surconteneur, et les matériaux argileux constituant la roche hôte et les ouvrages de scellement. La resaturation en eau des ouvrages du stockage après sa fermeture entraînera la corrosion des aciers pouvant engendrer une perte d'étanchéité des matériaux métalliques et une modification potentielle des propriétés de confinement des matériaux argileux suite au relâchement de fer en milieu anoxique.

De récentes études ayant montré que les microorganismes sont capables de se développer dans les environnements profonds, l'influence d'une activité bactérienne sur la réactivité des matériaux métalliques doit être évaluée. Par ailleurs, l'influence d'hétérogénéités sur les interactions entre matériaux métalliques et argileux reste mal connue.

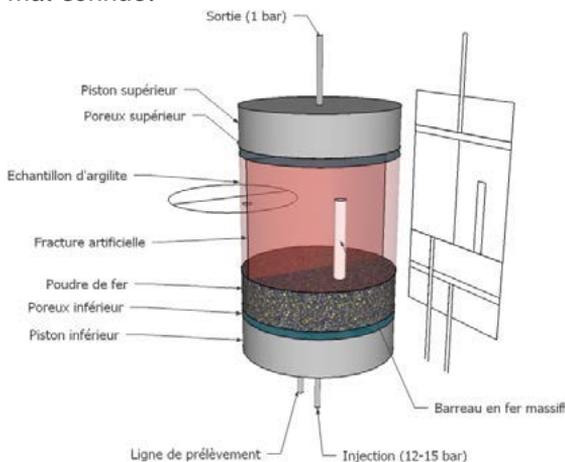


Schéma de principe du système intégré

Deux expériences intégrées ont été mises en œuvre pendant 13 mois : la première en présence de deux souches bactériennes, la seconde constituant un témoin abiotique. De l'eau synthétique circule sous pression (15 bars) et à 60°C, au travers d'un compact de fer pulvérulent puis d'une carotte artificiellement fissurée d'argilite du Toarcien de Tournemire. L'une des demi-carottes d'argile contient un cylindre de fer massif.

Indépendamment de la présence de bactéries, un gradient de précipitation de magnétite et de chukanovite, phases caractéristiques des processus de corrosion en conditions anoxiques, a été identifié au sein de la poudre de fer. La vitesse moyenne de corrosion

est estimée à 0,2 $\mu\text{m}/\text{an}$. Par ailleurs, une zone perturbée de 10 μm dans l'argilite, enrichie en fer et appauvrie en aluminium et potassium, ainsi qu'un appauvrissement en calcium (50 à 100 μm) à l'interface et le long des fissures ont été observés. La survie bactérienne a été confirmée dans la cellule biotique par le suivi de la population et une analyse de la diversité bactérienne à la fin des essais. En effet, une forte diminution de la concentration en sulfates a été mise en évidence en sortie de cellule ainsi que la formation de sulfures de fer de type mackinawite à l'interface fer massif/argilite, caractéristiques d'une activité bactérienne. Les simulations numériques (HYTEC) ont permis de valider et comprendre les mécanismes biogéochimiques observés expérimentalement.

Sujet de la thèse :

Cycle sismique et aléa sismique d'un réseau de faille active : le cas du rift de Corinthe.

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

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet IRSN R1.4.4.1 (Etude et recherche sur le risque lié aux agressions naturelles - aléa sismique). La thèse, co-financée par l'ANR et l'IRSN, s'insère dans le projet Corinth Rift Laboratory (CRL, <http://crlab.eu>) visant à observer et modéliser les processus de déformation tectonique du rift de Corinth (Grèce) dans sa partie ouest (Aigion-Patras). Ce rift est l'une des zones sismiques les plus actives d'Europe. Les réseaux sismologiques et géodésiques permanents du CRL ainsi que diverses études de terrain, ont conduit à identifier de nombreuses failles actives. A ce titre, le CRL est un laboratoire naturel idéal pour tester les différentes approches du calcul de l'aléa sismique.

L'objectif est de développer, en collaboration avec les membres du groupe SISCOR, un modèle de probabilité d'occurrence de séismes (POS) de $M \geq 6$ basé sur la caractérisation des failles et d'y identifier les paramètres clés. Les géométries des failles intégrées dans ce modèle (Fig 1), ainsi que leur activité sont estimées en intégrant les résultats issus de plusieurs disciplines. Les résultats principaux sont les suivants : (1) les données issues du catalogue de sismicité et de la paléosismicité témoignent de l'occurrence de scénarii de rupture de failles multiples (2) la comparaison du taux de moment sismique déduit de la géodésie avec le taux de moment sismique libéré indique que la déformation est en partie accommodée de manière asismique; (3) une distribution de la sismicité différente entre les séismes de faible et de forte magnitude est mise en évidence ; (4) les POS sont calculées avec un modèle sans mémoire (Poisson) mais pour quelques cas le dernier séisme est pris en compte (modèle BPT). Les incertitudes présentes aux différentes étapes de la construction du modèle de POS sont propagées afin de caractériser l'incertitude finale (Fig. 2). Les estimations de POS dans une approche par faille reposent sur une connaissance des taux de déplacements et de la géométrie 3D des failles qui est encore très incertaine. Malgré l'important degré de connaissance caractérisant le rift de Corinthe, les incertitudes encore présentes ne semblent pas favoriser l'approche par faille par rapport à une approche plus régionale dans un calcul probabiliste de l'aléa sismique.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Elise VI NHU BA
Date du début de la thèse :	01/10/2011
Laboratoire :	DEI/SARG/BERSSIN
Financement de thèse :	Co financement IRSN/MINES ParisTech
Directeur de thèse :	Mark NOBLE - MINES ParisTech
Tuteur de thèse :	Céline GELIS et Justo CABRERA
École doctorale :	MINES ParisTech/Géosciences et Ressources Naturelles

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

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

Le traitement des données sismiques s'effectue grâce à un code de tomographie développé au cours de cette thèse. Un tel développement permet d'avoir une compréhension totale des résultats obtenus, notamment en termes de résolution et de pertinence de l'image, conduisant ainsi à une interprétation avisée. Ce code, utilisé pour le traitement des données sismiques 2D Haute Résolution acquises depuis la surface du plateau en 2010 dans le cadre du GNR TRASSE, permet d'obtenir des informations sur les vitesses de propagation des ondes dans les premiers mètres de la sub-surface au sein des calcaires supérieurs. Afin de mieux connaître les couches situées sous cette zone, une acquisition sismique en transmission (surface-ouvrages souterrains) a été réalisée en Juillet 2013. Cette acquisition montre des premiers résultats très prometteurs pour la localisation des failles dans les argilites et calcaires de la Station Expérimentale de Tournemire.

Le 16 octobre, l'AD'IN organise la soirée !



L'AD'i[N] - l'Association des Doctorants de l'IRSN a pour objectifs de renforcer les échanges et les liens entre les doctorants de l'Institut et la création d'un réseau professionnel.

Les statuts ont été enregistrés à la sous-préfecture d'Antony le 13 août 2013, et ont été publiés dans le Journal Officiel du 31 août 2013.

Le bureau de l'AD'i[N] : Clélia LE GALLIC (Doctorante 2^{ème} année, PRP-HOM/SRBE/LRTOX), Zakaria MANA (Doctorant 2^{ème} année, PSN-RES/SCA/LPMA), Jean-Victor LACAVE (Docteur, PRP-HOM/SRBE/LRTE), Fabien PANZA (Docteur, prestataire PRP-CRI/SIAR/GLM).

**Jeudi 17 octobre
9h00-11h10**

Session Radioécologie

Transferts, dispersions des radionucléides

Salle Almanarre

Présidente : Nathalie LEMAITRE

Conférence invitée :

Isabelle TAUPIER-LETAGE, Circulation des masses d'eau en Méditerranée.

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

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

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

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

Titre de la présentation :

Circulation des masses d'eau en Méditerranée, phénomènes de moyenne échelle (tourbillons), relations avec phénomènes biologiques.

Isabelle TAUPIER-LETAGE

Chargé de recherche CNRS

Antenne du Mediterranean Institute of Oceanography, La Seyne sur Mer

Thèmes de recherche : Circulation des masses d'eau en Méditerranée, phénomènes de moyenne échelle (tourbillons), relations avec phénomènes biologiques

Après une courte introduction sur le fonctionnement de la Méditerranée (ci-dessous), la présentation abordera la circulation générale des masses d'eau (horizontale et verticale) et les échelles de variabilité des principaux processus dynamiques, dans le but de fournir des éléments pour les études de contaminants.

Le fonctionnement de la Méditerranée

La Méditerranée est une mer semi-fermée communiquant avec l'océan ouvert (Océan Atlantique) par le détroit de Gibraltar (~15 km à son minimum). Bordée au nord par des régions au climat méditerranéen, et au sud par des régions au climat (semi-) désertique, la Méditerranée est un bassin d'évaporation : elle perd plus d'eau par évaporation qu'elle n'en gagne par les précipitations et les fleuves (apports de la Mer Noire inclus). Le corollaire est une augmentation de la salinité du bassin occidental (~37-38 g de sel/kg d'eau) vers le bassin oriental (~38-39, localement > 39 en surface en été).

On estime que cette perte d'eau douce équivaldrait à une baisse du niveau de la mer d'environ 0.5 à 1 mètre d'eau par an. Lorsque le détroit de Gibraltar a été fermé au cours des âges géologiques (« crise du Messinien »), la Méditerranée s'est pratiquement asséchée. Si l'on n'observe pas, de nos jours, de variation sensible du niveau de la mer, c'est parce que ce déficit est compensé par une entrée d'eau à Gibraltar d'environ un million de m³ par seconde d'eau Atlantique en Méditerranée. L'eau Atlantique a une salinité plus faible (~36-37). Elle est donc moins dense que l'eau qui réside en Méditerranée et qui y a subi de l'évaporation. L'eau Atlantique va se propager en Méditerranée en restant superficielle, et par conséquent y déterminer la circulation de surface.

La force de rotation de la Terre va contraindre le flux d'eau Atlantique à couler en conservant la côte sur sa droite, et ainsi à décrire un circuit général en sens anti-horaire à l'échelle des deux bassins de la Méditerranée (Fig. 1).

L'instabilité de ces courants va engendrer, tout au long de l'année, des méandres et des tourbillons d'un diamètre de la dizaine à la centaine de kilomètre, d'une extension verticale de la centaine au millier de mètres (voire jusqu'au fond : ~3000 m). Les tourbillons se propagent vers l'est le long du talus continental à quelques kilomètres par jour. Ils peuvent ensuite se détacher du courant qui leur a donné naissance, et entraîner vers l'intérieur du bassin de l'eau Atlantique récente, marquée par un minimum de salinité. Le bassin algérien va ainsi jouer le rôle d'un réservoir d'eau Atlantique dont la limite nord est constituée par le front Nord-Baléares (Fig. 1), les tourbillons Algériens déconnectant le flux d'eau Atlantique entrant à Gibraltar des flux sortant au sud par le canal de Sardaigne et au nord par la veine Ouest-Corse.

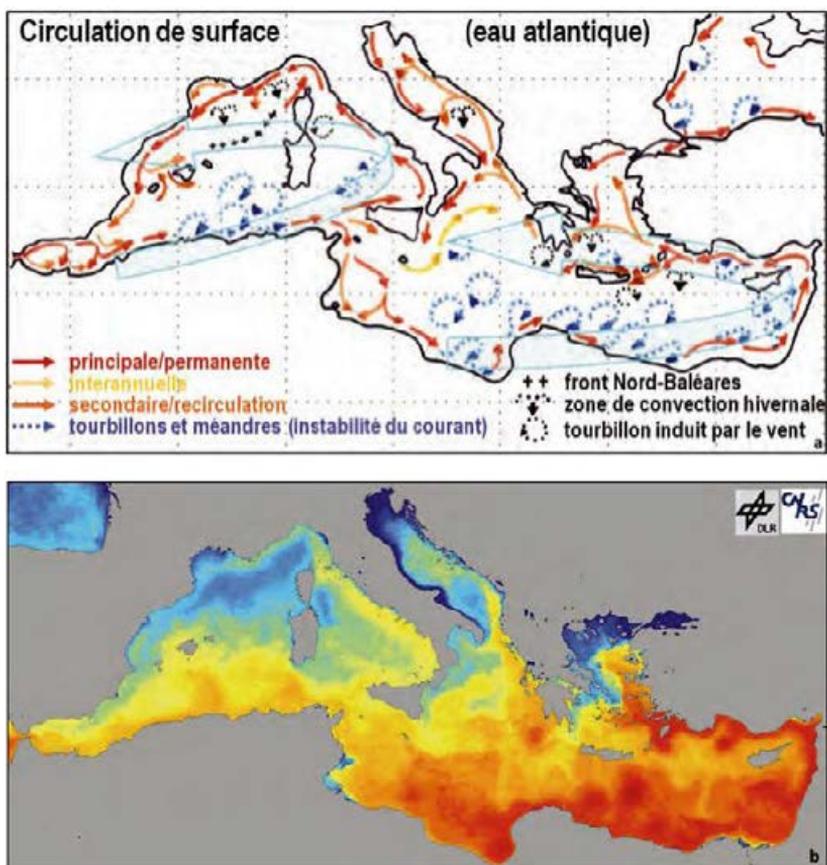


Figure 1. a : Schéma de la circulation de surface (eau Atlantique) en Méditerranée. b : Image satellitale NOAA/AVHRR des températures de surface (croissantes du bleu au rouge) : on peut suivre le trajet de l'eau Atlantique, plus chaude en hiver (image composite mensuelle de janvier 1998).

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :

Guillaume DEPUYDT

Date du début de la thèse :

01/10/2010

Laboratoire :

PRP-ENV/SESURE/LERCM

Financement de thèse :

Météo-France (co-financeur)

Directeur de thèse :

Jean-Louis BRENGUIER

Tuteur de thèse :

Olivier MASSON

École doctorale :

INP Toulouse - École doctorale SDU2E

En cas de rejets de polluants ou de radionucléides dans l'atmosphère, l'estimation du lessivage par la pluie est une donnée essentielle pour évaluer la contamination de la biosphère. En conditions normales, les niveaux de radionucléides artificiels dans l'atmosphère sont trop faibles pour que le lessivage de ces radioéléments puisse être étudié directement. Nous nous intéressons donc à la phase porteuse de la radioactivité, les aérosols. A partir des mesures de concentrations en aérosols juste avant et après la pluie, de précédentes études en conditions *in situ* (Schumann, 1988; Chate 2004, ...) ont déterminé les coefficients de lessivage $\Lambda(D_a)$ qui reflète l'efficacité des pluies à lessiver l'atmosphère. Cependant, cette approche ne tient pas compte de la variabilité des caractéristiques des précipitations (intensité des précipitations en particulier) ou de l'impact sur les concentrations en particules des autres processus atmosphériques qui peuvent survenir au cours d'une pluie (advection en particulier). Pour pallier à ces limitations, notre étude est basée sur des mesures à haute résolution temporelle de la pluviométrie et de la granulométrie des aérosols.

Pendant plusieurs mois, sur trois sites distincts en termes de conditions climatiques et de niveaux d'empoussièrément, les caractéristiques des précipitations et les concentrations d'aérosols ont été mesurées chaque minute. Les coefficients de lessivage Λ sont calculés non pas sur l'intégralité d'un événement pluvieux pouvant durer plusieurs heures, mais pour chacune des périodes où les niveaux de poussières mesurées diminuent (durée maximale de l'ordre d'une heure). Pour ces phases de décroissances, les mesures sont ajustées par une décroissance exponentielle telle que le prévoit la théorie du lessivage. La divergence entre les mesures et l'évolution temporelle théorique est ensuite évalué. Lorsque les deux jeux de données correspondent bien, les processus atmosphériques autres que lavage sont considérés comme négligeables.

Avec cette approche « intra-événementielle », un grand nombre de valeurs de Λ sont obtenues pour une grande diversité de situations pluviométriques différentes. Une paramétrisation du coefficient Λ en fonction du diamètre des particules D_a est proposée pour la gamme de taille nanométrique à supermicronique (figure 1). En outre, différentes relations entre Λ et l'intensité pluviométrique I sont identifiées (figure 2).

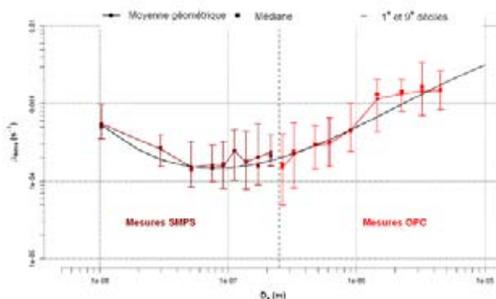


Figure 1 : $\Lambda = f(D_a)$

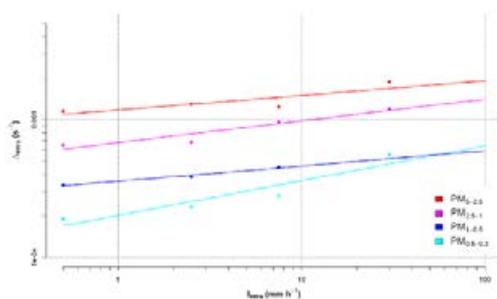


Figure 2 : $\Lambda = f(I)$

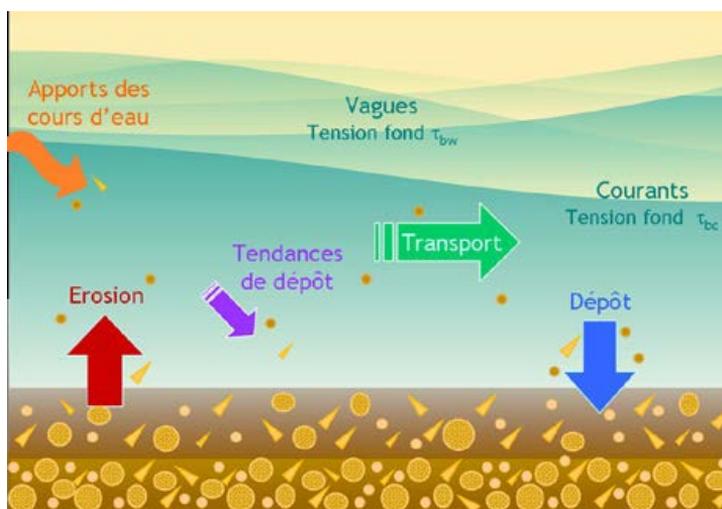
Sujet de la thèse :

Compréhension et analyse des processus hydro-sédimentaires de la Baie de Toulon.
Apport à la modélisation de la dispersion des radionucléides.

Doctorant :	Christiane DUFRESNE
Date du début de la thèse :	02/11/2011
Laboratoire :	PRP-ENV/SESURE/LERCM
Financement de thèse :	IRSN / Région PACA
Directeur de thèse :	Vincent Rey (Mediterranean Institute of Oceanography)
Tuteur de thèse :	Céline Duffa
École doctorale :	Université Sud-Toulon-Var / ED548-Sciences et Mer

L'antenne de radioécologie marine de La Seyne-sur-Mer étudie les conséquences sur l'environnement marin d'un éventuel rejet radioactif accidentel. Port d'attache de nombreux bâtiments à propulsion nucléaire, la Rade de Toulon a été choisie comme site d'étude pour la mise en place d'un modèle permettant la simulation de la dispersion des radionucléides. Cependant, le développement d'un tel outil nécessite une bonne connaissance des processus hydro-sédimentaires de la zone étudiée. En effet, outre la décroissance radioactive, l'hydrodynamisme (courants, vagues) et la dynamique sédimentaire (érosion, dépôt, transport) conditionnent le devenir des radionucléides dissous et particulaires en milieu marin. Les principaux objectifs de la thèse sont d'étudier les processus physiques (vagues, courants, dynamique sédimentaire) et de les reproduire dans un modèle global qui devra être calé et validé sur cette zone. De plus, les apports des fleuves côtiers chargés en matière en suspension (MES) doivent être pris en compte.

Les premiers travaux réalisés portent sur la validation du modèle hydrodynamique. L'analyse des données de courantomètres et leur comparaison aux résultats du modèle ont permis de mieux comprendre le fonctionnement hydrodynamique. L'impact du forçage météorologique et l'importance de sa précision ont été montrés. Les résultats du modèle ont également été utilisés afin de calculer les temps d'échanges de masses d'eau et des simulations de dispersion de traceur ont étoffé cette analyse. Le module sédimentaire a ensuite été couplé au modèle hydrodynamique et doit maintenant être calibré sur la zone. D'autre part, les apports des bassins versants doivent être pris en compte. Des instruments de mesure ont été placés dans les deux cours d'eau étudiés afin de qualifier (analyse granulométrique) et quantifier les flux liquides et solides, très dépendants des régimes hydrologiques (périodes d'étiage et crues très marquées). La suite des travaux portera principalement sur la validation des simulations hydrosédimentaires par des mesures en mer (concentration de MES, turbidité, dépôts/érosion, etc.).



Sujet de la thèse :

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

Doctorant : Mokrane BELHARET
Date du début de la thèse : 02/04/2012
Laboratoire : DEI /SESURE /LERCM
Financement de thèse : IRSN
Directeur de thèse : Claude Estournel (Observatoire Midi-Pyrénées), Sabine Charmasson
Tuteur de thèse :
École doctorale : Université Toulouse3 (UPS) / école doctorale SDU2E

Une forte contamination radioactive du milieu marin s'est produite après l'accident survenu dans la centrale nucléaire de Fukushima Dai-ichi le 11 mars 2011. Ces éléments radioactifs ont été rapidement transférés aux organismes marins, engendrant ainsi une forte contamination de certaines espèces notamment par les isotopes du Cesium qui possèdent des durées de demi vie assez élevées (2ans pour le ^{134}Cs et 30 ans pour le ^{137}Cs) (Buessler,2012 ;Medigan *et al.*,2012 ; Tateda *et al.*,2013).

Afin de simuler de façon dynamique l'activité du ^{137}Cs dans les différents organismes marins, un modèle générique simple a été développé, prenant en compte les différents processus d'accumulation et d'élimination du radionucléide par l'organisme. Ce modèle couplé avec un modèle de l'écosystème (NEMURO [Kishi *et al.* ,2007]) et un modèle de circulation océanique (SYMPHONIE [Marsaleix *et al.* ,2008]) a été utilisé dans un premier temps pour la simulation de la concentration du ^{137}Cs dans le plancton marin. Les concentrations de ce radionucléide dans l'eau ont été déduites à partir des résultats de la simulation de dispersion réalisée par Estournel *et al.* (2012).

Ce modèle sera ensuite appliqué pour la simulation de l'activité du ^{137}Cs dans les poissons, en prenant en compte leur différents comportements trophiques ainsi que leur différentes trajectoires de déplacement possibles.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Assia BOUAROURI
Date du début de la thèse :	30/09/2011
Laboratoire :	PSN-RES/SCA/LPMA - CNRS/DEA/LPGP
Financement de thèse :	CNRS/IRSN
Directeur de thèse :	Jean-Pascal Borra
Tuteur de thèse :	François Gensdarmes
École doctorale :	Paris XI - Ondes et matière ED 288

Afin d'évaluer l'impact des polluants sur l'environnement, l'estimation de la vitesse de dépôt sec des particules est nécessaire. Une méthodologie récemment développée est basée sur la mesure du flux de dépôt des aérosols atmosphériques par corrélation turbulente (*eddy correlation*). La vitesse de dépôt sec est obtenue en divisant le flux de dépôt par la concentration d'aérosol dans l'air (m^{-3}). Pour appliquer cette technique, il est nécessaire de déterminer les fluctuations de l'aérosol et des mesures en temps court (<100 ms) de la distribution en taille de l'aérosol et la vitesse du vent sont requises. Pour des temps aussi petits, les mesures électriques s'avèrent prometteuses. Par ailleurs, les décharges couronnes sont souvent utilisées pour produire des ions unipolaires requis pour charger l'aérosol. Afin de limiter les pertes d'aérosols chargées, la charge a lieu en post-décharge où la valeur du champ électrique est inférieure à $105 V.m^{-1}$.

La charge moyenne d'un aérosol dépend au premier ordre du diamètre de la particule d'aérosol et du produit $N_i \cdot \tau$ (N_i : densité moyenne d'ions ; τ : temps de charge). Pour la charge en temps court (<100 ms), la densité moyenne d'ions unipolaires requise est de l'ordre de $10^{13} m^{-3}$. Cependant, pour de telles concentrations les répulsions électrostatiques induisent une décroissance rapide de la densité d'ions et la densité initiale en sortie de l'extracteur doit être de l'ordre de $10^{16} m^{-3}$. La stratégie retenue dans la thèse est (i) optimiser la décharge par confinement hydrodynamique des ions vers l'extracteur (ii) optimiser l'extraction d'ions. La bibliographie a permis d'identifier les processus qui contrôlent l'extraction dans la géométrie pointe-plan troué dans le but d'augmenter la proportion d'ions extraits mais aussi de définir d'autres géométries permettant d'accroître la charge de l'aérosol tout en limitant les pertes. Deux géométries d'ioniseurs ont été développés pointe-plan troué et fil-fente. Afin de dimensionner la zone de charge, différents types de mélange ions-aérosol sont en cours de test. Le banc de production et de mesure aérosol a été calibré. Dans l'ioniseur (pointe-plan troué), un premier type de mélange a été étudié : les ions et les aérosols sont injectés face à face. Dans ce cas, le mécanisme de charge par champ s'avère efficace.

La suite de la thèse consiste à étudier les autres types de mélanges dans le but de choisir le ou les chargeurs qui remplissent les contraintes posées. Enfin, la dernière partie consistera à faire la séparation en taille et la mesure du temps de réponse.

**Jeudi 17 octobre
11h40-12h30**

Session Sûreté

Combustible - Vieillissement des installations nucléaires

Salle Almanarre

Président : Jean COUTURIER

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

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

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

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :

Quoc-Thang VO

Date du début de la thèse :

01/10/2010

Laboratoire :

IRSN/PSN-RES/SEREX/LE2M

Financement de thèse :

CNRS-IRSN

Directeur de thèse : Stéphane Pagano - Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC),
CNRS-UM2, Montpellier

Tuteur de thèse :

Christian Duriez

École doctorale :

Université Montpellier 2

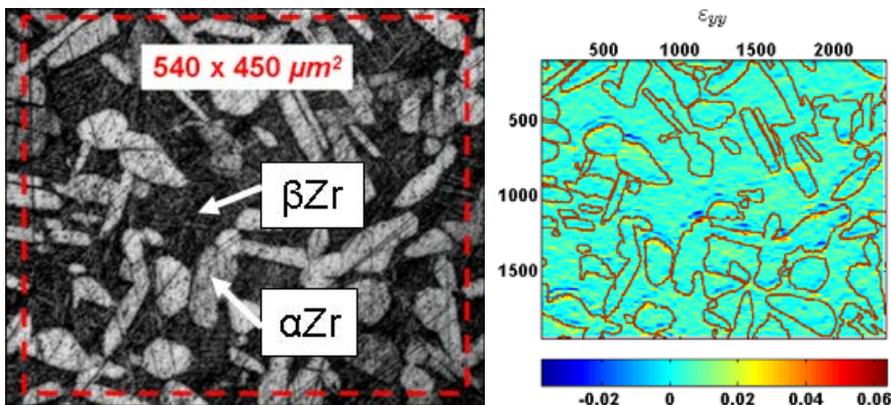
Ce travail vise in-fine à pouvoir évaluer les propriétés mécaniques des gaines du combustible des réacteurs à eau sous pression après un Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP). Dans une telle situation accidentelle, la gaine subit une oxydation à haute température, et présente à cœur après refroidissement une microstructure composite, constituée d'inclusions de la phase βZr riches en oxygène et rigides, dispersées dans une matrice de la phase βZr .

Une méthode d'homogénéisation inverse est proposée pour identifier les propriétés mécaniques élastiques d'une des deux phases à partir de la connaissance des propriétés de l'autre phase et de la mesure de champs cinématiques par corrélation d'images numériques. Un banc expérimental constitué d'un microscope longue distance associé à une machine de traction a été mis au point. Il permet une observation de la surface d'une éprouvette, à l'échelle de sa microstructure métallurgique, pendant la sollicitation mécanique.

La méthode inverse proposée a été en premier lieu évaluée sur des champs de déformation calculés par simulation aux éléments finis (CAST3M) d'essais de traction uniaxiale, avec des microstructures simplifiées : inclusions sphériques ou inclusions cylindriques, isolées ou réparties sur un réseau carré.

Des champs de déformation ont ensuite été obtenus expérimentalement par essai de traction et CIN-2D sur des éprouvettes composites simplifiées, obtenues par micro-perçage de plaques (soit des inclusions poreuses cylindriques).

Enfin, des essais de traction avec mesures CIN ont été réalisées sur des éprouvettes en Zircaloy-4 ayant subi une oxydation à haute température et une phase de recuit pour homogénéiser la distribution des inclusions. Les résultats de ces mesures ont été analysés par la méthode d'homogénéisation inverse proposée.



Microstructure d'une éprouvette en Zircaloy-4 oxydée à 900°C et recuite à 1000°C (à gauche); Composante suivant l'axe de traction du champ de déformation déterminé par corrélation d'images, pour une déformation macroscopique de l'éprouvette de 0.45% (à droite).

Sujet de la thèse :

Étude par des approches atomistiques de la fragilisation des gainages nucléaires due à la précipitation des hydrures

Doctorant :	Alice Dufresne
Date du début de la thèse :	01/10/2011
Laboratoire :	PSN-RES/SEMIA/LPTM
Financement de thèse :	PACA/IRSN/CNRS
Directeur de thèse :	Guy Tréglia - CINA-M- Marseille
Tuteur de thèse :	Fabienne Ribeiro
Ecole doctorale :	Physique et Sciences de la Matière (AMU)

Dans les réacteurs nucléaires, les éléments structurels et les gainages en zircaloy-4 sont situés dans un environnement aqueux à haute température et soumis à une forte irradiation. L'oxydation qui a lieu à la surface conduit à une production d'hydrogène, qui diffuse ensuite dans le zircaloy. Lorsque la concentration de cet hydrogène dans le zircaloy dépasse la limite de solubilité, il précipite sous forme d'hydrure de zirconium, et peut contribuer, notamment en fonction de son orientation, à la fragilisation de la gaine. Il est ainsi primordial pour les études de sûreté de bien comprendre les mécanismes qui gouvernent la précipitation et la remise en solution des hydrures. Même si les hydrures ont été étudiés ces dernières décennies, des contradictions existent dans la littérature, en particulier concernant la nature et la stabilité des phases d'hydrures et la cinétique de transformation. La plupart des études expérimentales sont basées sur des techniques indirectes ou des analyses post-mortem qui ne permettent pas d'obtenir des informations sur les mécanismes et la cinétique de précipitation et remise en solution des hydrures.

Jusqu'ici, la modélisation des hydrures à l'échelle atomique est principalement basée sur des approches ab-initio et ne permet pas l'étude de gammes de température réalistes. Le but de cette thèse est de clarifier le diagramme de phase des hydrures de zirconium ainsi que les mécanismes de précipitation/remise en solution et de mieux comprendre et quantifier les corrélations entre contraintes locales dans le métal et précipitation des hydrures. Pour atteindre ces objectifs, nous avons choisi de mettre en oeuvre des approches de modélisation atomistique basées sur la description des interactions électroniques via le formalisme de liaisons fortes. La température sera prise en compte au travers d'approches de type Monte-Carlo.

Les étapes du travail sont les suivantes. Nous avons tout d'abord obtenu les potentiels interatomiques du modèle de liaisons fortes pour le zirconium par ajustement à des calculs de structure électronique réalisés en DFT. Nous avons ainsi dérivé des intégrales de saut, un terme répulsif et leur loi de dépendance en fonction de la distance. Une validation systématique de ce modèle est en cours par comparaison de nos résultats avec les données disponibles dans la littérature sur les principaux défauts : lacunaires, interstitiels... Cette méthodologie va maintenant être utilisée pour décrire l'interaction avec l'hydrogène. Enfin, nous développons un code Monte-Carlo dans les ensembles canonique et grand-canonique afin d'étudier le comportement des hydrures en température. Le diagramme de phase sera ainsi clarifié et une étude systématique nous permettra de mieux comprendre la corrélation entre contraintes locales et solubilité des hydrures.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :

Adrien HILAIRE

Date du début de la thèse :

01/10/2011

Laboratoire :

PSN-EXP/SES/BEGCS

Financement de thèse :

Collaboration IRSN-ENS Cachan

Directeur de thèse :

Yves Berthaud (ENS Cachan)

Tuteur de thèse :

Georges Nahas

École doctorale :

ENS Cachan

Dans le cadre du projet de prolongation de la durée d'exploitation des centrales nucléaires, le comportement des enceintes de confinement est un élément important pour la sûreté nucléaire, car elles constituent la troisième et la dernière barrière de confinement contre le relâchement éventuel de produits radioactifs dans l'environnement.

Cette structure est réalisée en béton armé et bi-axialement précontraint (horizontal et verticale). L'étude de son comportement se fait à travers deux périodes distinctes. Au jeune âge, la nature exothermique de la réaction d'hydratation du ciment entraîne l'apparition de contraintes thermo-mécaniques (notamment au niveau des reprises de bétonnage entre différentes levées). À l'issue de cette phase, des fissures peuvent apparaître et les zones affectées constitueront des zones de faiblesse pendant la durée d'exploitation du réacteur. À long terme, les déformations différées dues aux phénomènes de retrait et du fluage du béton, responsables des pertes de précontraintes dans les câbles au long de la vie de l'ouvrage, influencent l'évolution dans le temps du comportement mécanique de l'enceinte interne et de sa capacité de confinement en cas d'accident.

De plus, pour évaluer la stabilité et la capacité de confinement des enceintes, des épreuves décennales sont réalisées périodiquement (application d'une surpression interne de 0,4 MPa en air et à température ambiante) Pendant ces épreuves quelques fissurations sont parfois observées dans certaines parties singulières de la structure.

Le travail de la 1ère année a été consacré à l'étude bibliographique sur les modèles numériques utilisés pour la simulation du fluage du béton et la compilation des résultats expérimentaux des thèses de l'IRSN sur le béton B11. Un programme expérimental a été établie avec une mise au point d'essai de fluage sous sollicitations biaxiales et d'un essai (uniaxial) simulant l'état de contraintes subi par le béton dans une enceinte du jeune âge à long terme (compression, puis traction, puis compression, puis enfin traction).

Cette année, le travail de recherche consistait à la mise en œuvre du modèle numérique dans le logiciel CAST3M et la réalisation du programme expérimental. Les essais sont actuellement en cours de réalisation en conditions endogènes et séchante. Durant l'année prochaine, le travail sera consacré sur la suite du programme expérimental, la validation du modèle numérique avec l'identification des paramètres matériaux et le calcul d'application sur une enceinte de confinement. La simulation portera sur une tranche d'une partie courante de l'enceinte de confinement est étudiée au jeune âge. La prédiction de l'endommagement à l'issue de cette phase est fortement dépendante de la modélisation choisie pour le fluage propre. Des essais ont également été menés afin d'identifier les paramètres nécessaires à la simulation du comportement hygro-mécanique du béton à long terme.

Durant ma dernière année de thèse, les efforts engagés sur le plan expérimental et numérique seront poursuivis. Des essais de fluage en bi-compression seront réalisés. L'évolution du comportement d'une enceinte de confinement (zone courante, TAM) sera simulée du jeune âge au long terme afin de prédire son état d'endommagement 40 ans après sa mise en service.

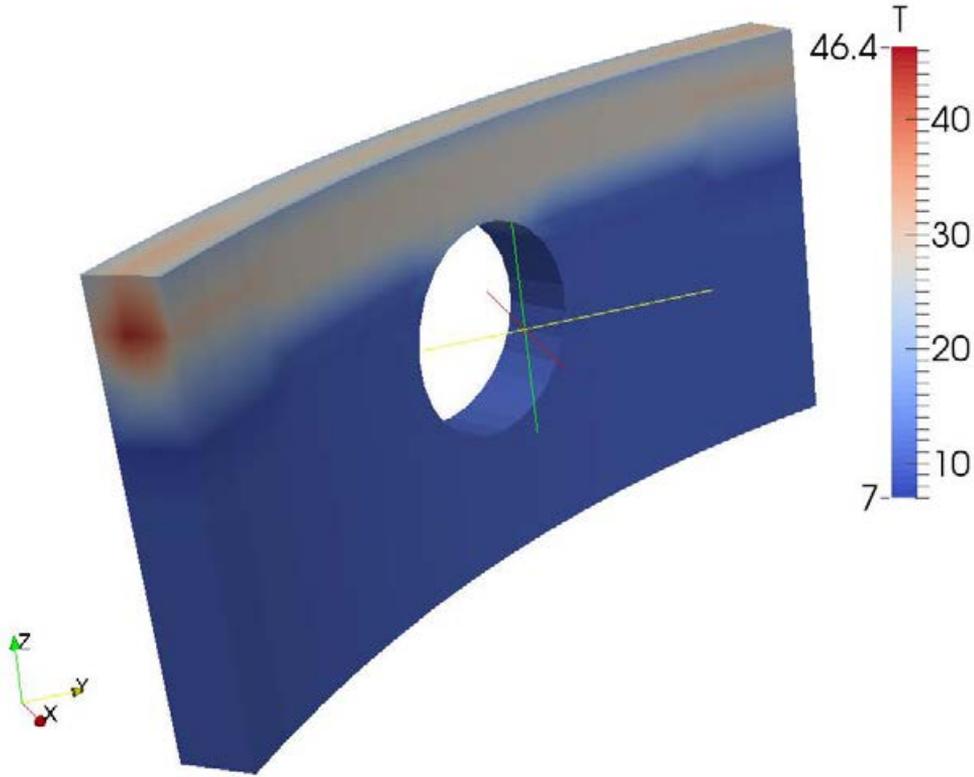


Illustration 1: Champ de température lors de la construction de l'enceinte

Sessions posters

doctorants de 1ère année

Pôle sûreté : incendie, confinement, génie civil, méthodes, combustible, vieillissement des matériaux, facteurs humains

Lhassan AMARSID, Fragmentation et écoulement des agrégats poreux

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

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

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

Sebastian CASTRILLON ESCOBAR, Instabilités et dispersion des jets de corium liquides : analyse des processus physiques et modélisation dans le logiciel mc3d

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

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

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

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

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

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

Hassan MAATOUK (EMSE), Spectram methods and non stationary kernels in computer experiments

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

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

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

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

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

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

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

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

Sujet de la thèse :

Fragmentation et écoulement des agrégats poreux.

Doctorant :

Lhassan AMARSID

Date du début de la thèse :

01/10/2012

Laboratoire : PSN-RES/SEMIA/LPTM et LMGC Montpellier 2 (laboratoire commun MIST)

Financement de thèse :

IRSN

Directeur de thèse :

Franck RADJÁĪ - CNRS

Tuteur de thèse :

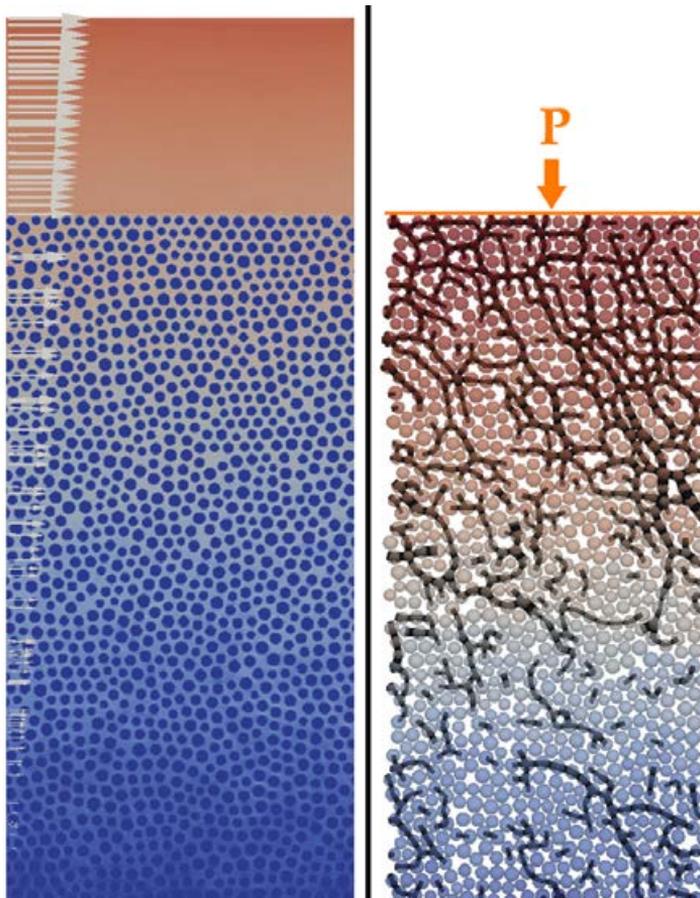
Frederic PREALES

École doctorale :

Université Montpellier 2 , I2S

L'objectif de la thèse est l'étude et l'analyse du processus de fragmentation et relocalisation du combustible nucléaire en présence d'un fluide (gaz de fission en situation normale, ou fluide caloporteur en cas de rupture de la gaine) par modélisation numérique en utilisant des approches discrètes par couplage des méthodes LEM (Lattice Element Method), LBM (Lattice Boltzmann Method) et DEM (Discret Element Method). Dans la première phase de cette étude, un modèle basé sur le couplage LBM-DEM a été mis en place pour analyser le comportement homogène du mélange fluide-grains dans une géométrie de Couette (cisaillement imposé).

Une campagne de simulations a été menée pour déterminer les conditions d'obtention d'un mélange homogène et la dépendance des grandeurs effectives (viscosité, frottement interne, compacité) au taux de cisaillement et aux propriétés matérielles locales.



Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Jack ARAYRO
Date du début de la thèse :	01/10/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SEMIA/LPTM
Financement de thèse :	IRSN/AREVA/CNRS
Directeur de thèse :	Guy Trégliat - CINaM - Marseille
Tuteur de thèse :	Fabienne Ribeiro
École doctorale :	Physique et Sciences de la Matière (AMU)

Le dioxyde d'uranium UO_2 est un combustible standard utilisé dans les réacteurs à eau pressurisée (REP). Il est donc essentiel de comprendre ses propriétés mécaniques, thermiques et physico-chimiques dans les conditions de fonctionnement normales ou accidentelles du réacteur. Lors des réactions de fission de l'uranium, des gaz rares tels que le xénon et le krypton sont générés. Ces atomes ont une très faible solubilité dans la matrice combustible et vont précipiter sous forme de bulles (intra-ou intergranulaire) à l'intérieur de la matrice UO_2 . La présence de ces bulles modifie les propriétés thermomécaniques du combustible et la compréhension de leur impact constitue donc un enjeu important en termes de sûreté.

Le but de ce travail est d'étudier l'effet des bulles de gaz intragranulaire sur le comportement thermomécanique du combustible par des approches théorique à l'échelle atomique, en utilisant des approches thermostatistiques telles que les techniques Monte Carlo et dynamique moléculaire, et des modèles énergétiques fondés sur des potentiels semi-empiriques.

Des résultats précédents ont mis en évidence l'importance des effets de surface de cavités vides sur les propriétés mécaniques (constantes élastiques) et thermiques (conductivité et dilatation thermique) du combustible. Dans le cadre de cette thèse nous étudierons donc d'une part l'effet de la présence de gaz rares dans le combustible et d'autre part les effets d'interfaces entre ces gaz et la matrice. C'est la raison pour laquelle nous nous intéresserons successivement aux propriétés du Xe à haute température et haute pression, puis à l'effet de sa présence en contact avec la matrice d' UO_2 , d'abord avec une surface libre avant de passer à la situation réaliste de nanobulles intragranulaires.

Plus précisément, nous étudions des isothermes d'adsorption/incorporation dans différents systèmes (vide, surface, couche mince d' UO_2 et cavités dans une matrice d' UO_2) pour différentes températures, et nous procédons à l'analyse des configurations obtenues afin de pouvoir caractériser les microstructures de ces différents systèmes ainsi que les propriétés macroscopiques précédemment évoquées.

L'étape suivante consistera en l'analyse de ces résultats en utilisant une approximation de type champ moyen qui nous permettra de déterminer les forces motrices des phénomènes observés (comme l'enthalpie et l'entropie), afin de passer à l'échelle supérieure et fournir des informations au code thermomécanique de l'IRSN.

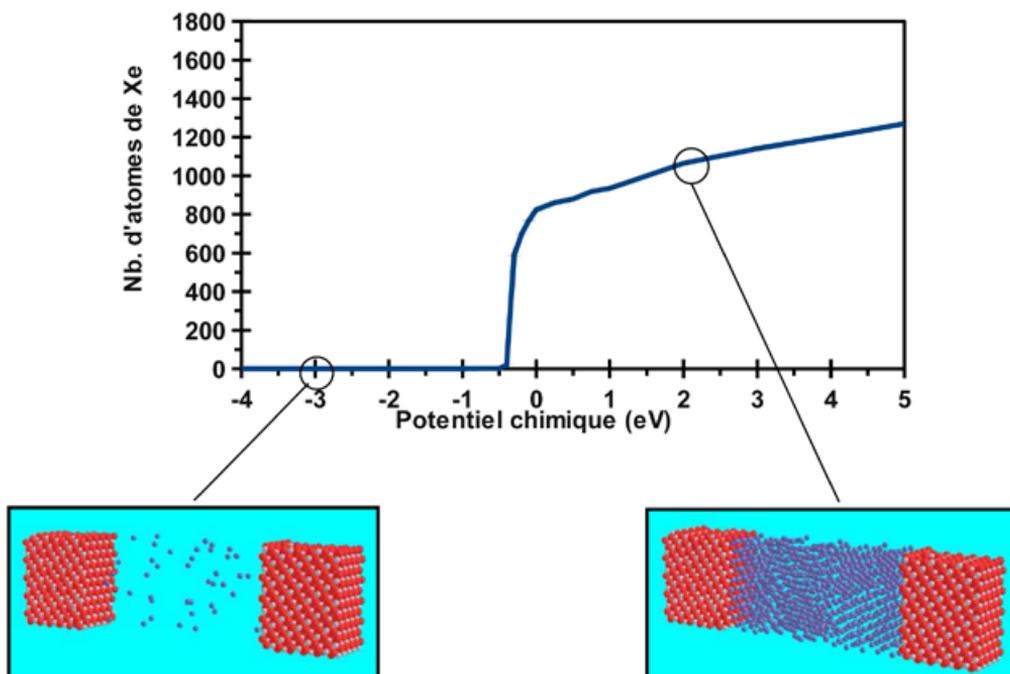


Figure 1: Exemple d'isotherme d'adsorption de Xe sur une couche mince d' UO_2 à une température de 300K. En insert, sont illustrées les microstructures diluées et denses observées en fonction du potentiel chimique (en bleu les atomes de Xe, en rouge de O et en gris de U).

Sujet de la thèse :

Évaluation du transfert de chaleur en ébullition en film transitoire.

Doctorant :

Nicolas BAUDIN

Date du début de la thèse :

22/10/2012

Laboratoire :

PSN/SEMIA/LIMAR

Financement de thèse :

cofinancement EDF

Directeur de thèse :

Catherine Colin, Julien Sebillieu - IMFT (Toulouse)

Tuteur de thèse :

Pierre Ruyer

École doctorale : Université de Toulouse, Mécanique Énergétique Génie civil & Procédés



L'accident d'insertion de réactivité est étudié pour le dimensionnement des réacteurs nucléaires. Il correspond à une augmentation soudaine et importante de la température du combustible nucléaire. Les transferts de chaleur du combustible vers le fluide caloporteur sont déterminants pour évaluer les conséquences de cet accident. L'ébullition transitoire du caloporteur est notamment primordiale mais demeure mal connue. L'IRSN mène un programme de recherche à ce sujet et une boucle expérimentale dédiée a été construite à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse pour comprendre l'effet d'un chauffage transitoire sur l'ébullition. Une conduite de section semi-annulaire est équipée d'une caméra infrarouge pour mesurer la température de paroi avec une grande précision temporelle et une caméra rapide pour voir le déclenchement de l'ébullition et son développement. La paroi est chauffée par effet Joule.

Un cycle de chauffe se décompose en plusieurs temps. Quand la paroi commence à chauffer les transferts de chaleur se font par convection forcée instationnaire. Passé une température de paroi T_{onb} , le fluide commence à bouillir, les transferts de chaleur sont améliorés mais la température continue d'augmenter. Quand une température critique est atteinte, le liquide ne mouille plus la paroi et un film de vapeur la recouvre. Les transferts de chaleurs sont fortement dégradés et la température grimpe en flèche ce qui détruit généralement la paroi.

La convection forcée instationnaire a été peu étudiée, des expériences ont été faites pour caractériser cette phase très importante pour le déclenchement de l'ébullition. Une courbe modèle permet de regrouper les résultats, avec un nombre de Nusselt pour la phase stationnaire et un temps caractéristique pour la phase transitoire. Le nombre de Nusselt est approché par une corrélation établie en écoulement annulaire et la phase

transitoire n'est contrôlée que par l'écoulement.

Les premiers résultats sur l'ébullition nucléée transitoire ont montré que la température de déclenchement d'ébullition et que les transferts de chaleur paroi-fluide augmentent avec la puissance imposée.

Les images en ébullition en film ont montré que des instabilités de Kelvin-Helmoltz se développent, avec des longueurs et des vitesses de vagues correspondant à la théorie.

Sujet de la thèse :

Impact des nouvelles technologies et techniques sur l'activité des soignants et la sécurité des soins en radiothérapie.

Doctorant :	Sarah CARMINATI
Date du début de la thèse :	05/11/2013
Laboratoire :	SRDS/SFOHR/LSHS
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Françoise Decortis - Paris 8
Tuteur de thèse :	Hélène Faye
École doctorale :	Paris 8 /Cognition Langage Interaction

Chaque année en France, sur 320 000 patients à qui l'on diagnostique un cancer, environ 200 000 sont traités par radiothérapie externe. Le vieillissement de la population française augmente le nombre de patients traités par cette technique. Parallèlement, le parc des appareils de traitement en France est vieillissant et insuffisant. La radiothérapie doit relever le défi de traiter plus de patients tout en augmentant le nombre et la sophistication des équipements avec un personnel soignant encore insuffisant. Les évolutions technologiques détiennent des caractéristiques nouvelles telles qu'un allongement ou une diminution de la durée de traitement, une manipulation des appareils qui se réalisent de plus en plus à distance via des logiciels de contrôle. Les progrès technologiques en radiothérapie sont réalisés dans le but d'améliorer la qualité des traitements et la sécurité des soins. L'objectif de cette thèse est d'étudier l'appropriation de ces technologies par le personnel soignant et d'articuler cette notion avec la gestion des risques. Quelles sont les dimensions de l'activité et de l'organisation de travail qui sont touchées par ces évolutions ? Quels sont les impacts de ces évolutions sur les compétences individuelles et collectives ? Nos premiers résultats issus d'une étude exploratoire révèlent un changement des compétences des manipulateurs d'électroradiologie dans la prise en charge de la santé et de la sécurité des patients.

Ces premiers résultats nous amènent à questionner les conditions organisationnelles et technologiques qui seraient favorables aux développements des compétences des soignants pour la gestion de la sécurité.



Sujet de la thèse :

Instabilité et dispersion des jets de corium liquides: Analyse des processus physiques et modélisation dans le logiciel MC3D.

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

Lors du déroulement d'un accident nucléaire grave avec fusion du combustible dans une centrale Nucléaire, l'écoulement du combustible fondu (corium) et son interaction avec l'eau à l'intérieur ou à l'extérieur de la cuve, peut déclencher une explosion de vapeur. Dans le but d'améliorer les connaissances sur cette interaction corium-réfrigérant (ICR) et sa modélisation via des codes de simulation numérique multiphasique (MC3D), il est important de mieux comprendre la physique relative à la fragmentation primaire et secondaire du corium au contact de l'eau avant le déclenchement de l'explosion. En effet, la phase de prémélange ou fragmentation grossière du corium, pilote la suite de l'accident, conditionnant à la fois l'intensité de l'explosion de vapeur et la formation du lit de débris. Ce thème est un des axes majeurs du projet de recherche ICE (IRSN/CEA/LEMTA/EDF/AREVA) sélectionné par l'ANR dans le cadre de l'appel à projet de Recherche en Sureté Nucléaire et Radioprotection (RSNR).

La modélisation de la fragmentation des jets de corium est complexe par le caractère multiphasique et par les divers processus physiques en interaction (ébullition et solidification entre autres). Cependant, même dans les cas plus simples sans ébullition ni solidification, la compréhension des processus d'instabilité et de fragmentation est très incomplète. La modélisation est alors réduite à des modèles simplifiés fortement paramétriques. L'objectif de la thèse est d'apporter une amélioration de la compréhension et de la modélisation de ce phénomène en recherchant des approches innovantes.

Parallèlement à des analyses des processus d'instabilités, nos travaux ont principalement porté sur la fragmentation secondaire des gouttes liquides (exposés dans la conférence SDMA 2013, Allemagne). Actuellement, il est fait l'hypothèse que le processus de fragmentation se fait en une seule étape (primaire). Pour la mise en œuvre de cette nouvelle approche, un modèle de fragmentation a été implémenté dans le code MC3D avec l'objectif de reproduire la distribution de taille des gouttes (approche MUSIG). Ce modèle a été d'abord vérifié dans des configurations simples (fragmentation d'une goutte et de jets isothermes). Les résultats encourageants permettent d'envisager la prise en compte de l'ébullition et de la solidification pour la description des jets de corium.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Rémi CLAVIER
Date du début de la thèse :	05/11/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SEREX/LE2M
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Michel QUINTARD - Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse Florian FICHOT - IRSN/PSN-RES/SAG/LESAM
Tuteur de thèse :	Nourdine CHIKHI- IRSN/PSN-RES/SEREX/LE2M
École doctorale :	INPT/SDU2E

Un accident grave peut conduire à la formation d'un lit de débris solides par effondrement des crayons combustibles, ou lors de la chute de matériaux fondus dans l'eau encore présente dans la cuve. Un lit de plusieurs tonnes de débris a pu être observé à Three Mile Island en 1979, ainsi que dans de nombreuses expériences.

Pour revenir à un état sûr, il est nécessaire de renvoyer de l'eau dans le cœur accidenté. Cette action est appelée renoyage. Lors du renoyage d'un lit de débris, l'eau peut avoir de grandes difficultés à y pénétrer, car les débris sont chauffés à haute température par la puissance nucléaire résiduelle.

Afin d'étudier la refroidissabilité des lits de débris, et pour optimiser la gestion des appoints en eau, l'IRSN a lancé le programme expérimental PEARL pour étudier à une échelle réduite le renoyage d'un lit de débris en le représentant par un lit de billes à taille unique (« monodisperse ») chauffées par induction.

Le but des travaux réalisés lors de cette thèse est d'établir une correspondance, du point de vue des pertes de charge, entre un lit de billes monodisperse et un lit réel qui comprend des particules de formes complexes et de tailles multiples. Ce travail est nécessaire à la compréhension et à l'interprétation des essais PEARL, et s'inscrit dans



la continuité de la thèse de l'Andréa BACHRATA qui portait sur les aspects thermiques du renoyage (coefficients d'échange, flux critique...). Pour cela, le dispositif CALIDE (CAractérisation des Lits de DEbris) permet de générer un écoulement diphasique eau/air à pression et température ambiantes à travers une section cylindrique contenant des lits de débris de plus en plus complexes, et instrumentée de façon à mesurer les débits, la perte de charge, et le taux de vide. Nous avons déjà pu établir une corrélation pour des mélanges de billes et de particules non sphériques traversés par un écoulement monophasique. Dans un second temps, nous étudierons le cas des écoulements diphasiques, ainsi que les effets d'inhomogénéités dans les lits de débris.

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

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Alexandre DECRETON
Date du début de la thèse :	15/10/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/LETR
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Jacques Rogez - IM2NP
Tuteur de thèse :	Marc Barrachin
École doctorale :	ED352 / Physique et Sciences de la Matière

Des bases de données thermodynamiques sont développées à l'IRSN pour la prédiction de la dégradation du cœur combustible, le comportement du corium et la détermination des rejets de radioéléments appelés terme source. Ce travail de thèse s'inscrit dans une démarche continue d'amélioration de ces bases ici pour ce qui concerne l'impact des matériaux des crayons absorbants en AIC et tout particulièrement du système Ag-Zr-In pertinent pour l'interaction entre la barre en AIC et l'enveloppe en Zr.

En ce qui concerne les systèmes binaires, l'étude bibliographique préalable à la thèse a montré que le système Ag-In était bien décrit. En revanche, notre analyse a établi que les systèmes Ag Zr (Figure 1) et In Zr nécessitaient d'être affinés. Nous avons notamment mis en évidence la grande sensibilité de la modélisation du système Ag-Zr dans la base NUCLEA aux valeurs des enthalpies de formation des composés intermétalliques AgZr et AgZr₂.

L'élaboration des sept composés présents dans les systèmes Ag-Zr et In-Zr constitue une première difficulté expérimentale. Nous avons défini un protocole qui a permis d'élaborer avec succès certains d'entre eux sous la forme d'échantillons monophasés. Ceux-ci ont fait l'objet d'une caractérisation par microscopie électronique à balayage (MEB) couplée à une analyse dispersive en énergie (EDS). Ce travail d'élaboration a aussi permis une meilleure compréhension de la solidification des composés AgZr et AgZr₂.

Ces composés élaborés, leurs enthalpies de formation sont mesurées par calorimétrie de dissolution en bain d'aluminium. Cette technique consiste à mesurer séparément les enthalpies de dissolution des éléments purs et des composés dans un solvant commun. La dissolution de Ag et de Zr dans l'aluminium a été réalisée et les résultats obtenus cohérents avec la littérature.

Une étude du système Ag-Zr par analyse thermique différentielle sera également réalisée afin de déterminer les températures de changement de phases dans la région riche en Zr.

Notre analyse en cours des résultats obtenus lors des essais de dégradation (PHEBUS PF, CORA, QUENCH...) va permettre de cibler les domaines de composition et de température étudiés en priorité.

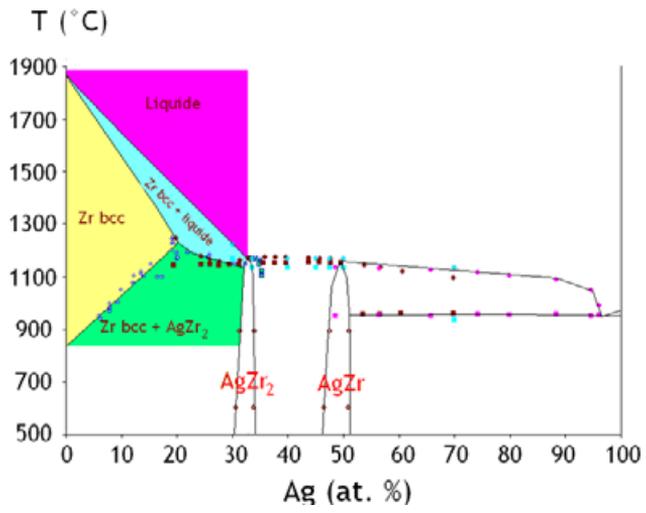


Figure 1 : Diagramme binaire Ag-Zr

Sujet de la thèse :

Sécurité gérée et démonstration de sûreté dans les activités de manutention.

Doctorant : **Jérémy EYDIEUX**
Date du début de la thèse :
Laboratoire : **SFOHR/LSHS**
Financement de thèse : **Chaire RESOH de l'École des Mines de Nantes**
Directeur de thèse : **Benoît Journé - Université de Nantes**
Tuteur de thèse : **Hélène Faye et Stéphanie Tillement (École des Mines de Nantes)**
École doctorale : **Université de Nantes/DEGEST**

Notre travail de thèse est effectué dans le cadre de la chaire « REcherche en Sûreté Organisation Hommes » (RESOH) de l'École des Mines de Nantes; cette chaire porte sur l'étude des facteurs organisationnels et humains de la sûreté des sites industriels à risque, et a pour partenaires AREVA, DCNS et l'IRSN. Notre projet vise à questionner l'intégrabilité de la «sécurité gérée», la capacité adaptative de sécurité, dans les dispositifs de démonstrations de sûreté. Cette forme de sécurité doit se combiner à la «sécurité réglée», la sécurité construite à partir des formalismes et des règles, afin de construire la sécurité totale.

Pour mieux comprendre les questions pratiques que soulève l'intégration de cette forme de sécurité dans les démonstrations de sûreté, nous faisons un détour par l'étude des activités de manutention. Ces activités posent en effet question à l'un de nos partenaires, dans la mesure où leur réalisation est très peu cadrée par des procédures. Il s'interroge sur la manière dont ces activités parviennent à s'effectuer en sécurité malgré une absence de règles formelles pour les soutenir. Pour proposer des pistes de réponse, privilégiant une entrée par l'observation de l'activité en situation, nous avons évolué en autonomie dans le cadre d'une immersion de trois semaines. L'enquête menée nous permet de mieux comprendre comment qualifier la sécurité gérée et ses ressorts ainsi que comment mettre en valeur cette source de sécurité dans les démonstrations de sûreté. Les activités observées nécessitent en effet des arbitrages entre règles et ajustements locaux, qui sont réalisés en situation. Du point de vue des sciences de gestion, ces arbitrages sont réalisés dans le cadre d'espaces de discussion animés par les manutentionnaires. Afin d'intégrer la sécurité gérée dans les dispositifs de démonstration de sûreté, la prise en compte de telles instances d'arbitrage constitue une piste intéressante.

Nous poursuivrons notre recherche par l'étude d'activités de manutention réalisées sur d'autres sites industriels, cela nous permettra de collecter des éléments comparatifs et de consolider nos données. Nous serons alors plus à même d'interroger les difficultés que représente l'intégration de la sécurité gérée dans les démonstrations de sûreté auprès des acteurs qui y contribuent.

Sujet de la thèse :

Comportement des matériaux nanoporeux : Application au combustible UO_2 .

Doctorant :

Xavier HALLER

Date du début de la thèse :

29/10/2012

Laboratoire :

PSN-RES/SEMIA/LPTM

Financement de thèse :

Cofinancement IRSN EDF

Directeur de thèse :

Yann Monerie - UM2 et LMGC et Stéphane Pagano - CNRS et LMGC

Tuteur de thèse :

Pierre-Guy Vincent

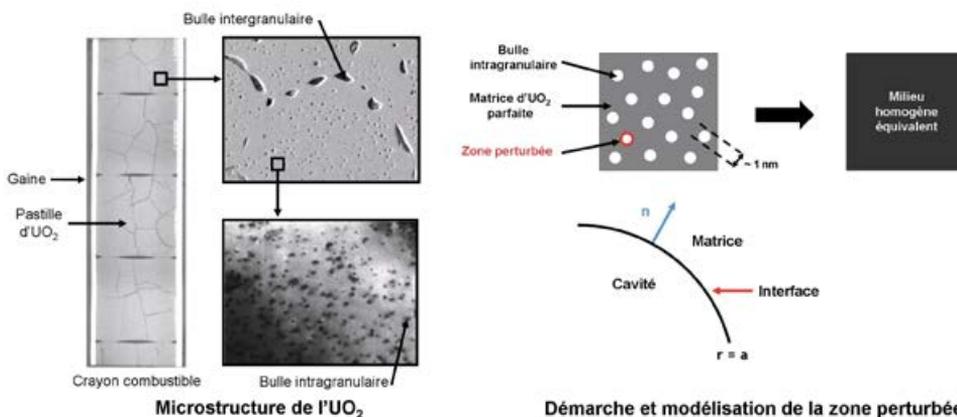
École doctorale :

Université Montpellier 2 / I2S

Le combustible des réacteurs à eau pressurisée (REP) se présente sous forme de pastilles cylindriques en dioxyde d'uranium (UO_2), empilées dans des gaines cylindriques en alliage de Zirconium (crayons combustibles). La gaine est la première barrière de sûreté contre le risque de dispersion de matières radioactives dans l'environnement. Il est donc nécessaire de pouvoir garantir son intégrité en fonctionnement normal ou accidentel, notamment au cours d'un accident de réactivité (RIA) qui correspond à une évolution incontrôlée de la réaction nucléaire. SCANAIR est le code de simulation du comportement thermomécanique du combustible des REP en situation de RIA développé au sein du LPTM. Le code SCANAIR a besoin de lois de comportements mécaniques capables de prendre en compte l'évolution de la microstructure des matériaux au cours de leur séjour en réacteur.

Au cours de l'irradiation, deux populations de bulles apparaissent au sein de l' UO_2 , des bulles intergranulaires micrométriques et des bulles intragranulaires nanométriques de forme sphérique. Dans le cadre de la thèse de P.-G. Vincent (2007), un modèle a été établi pour prendre en compte cette microstructure particulière. Cependant des travaux de dynamiques moléculaires menés récemment à l'IRSN dans le cadre de la thèse de M. Colbert (2012) ont montré qu'il existe un effet de surface à l'échelle des bulles nanométriques. Cet effet est dû à la présence d'une zone perturbée de quelques rangées d'atomes entre les bulles intragranulaires et la matrice d' UO_2 et modifie de façon non négligeable le comportement mécanique effectif du combustible. L'objectif de la thèse est d'établir une loi de comportement mécanique pour l' UO_2 en RIA capable de prendre en compte l'effet de surface à l'échelle des bulles nanométriques.

L'étude bibliographique réalisée au cours de cette année a permis de réaliser un état de l'art sur l'origine de ces effets de taille, leurs modélisations (approches interface ou interphase) et les modèles micromécaniques associés existants (en élasticité). Un cadre général a été dégagé permettant de classer et de retrouver simplement ces différents modèles. Des travaux originaux permettant d'enrichir les modèles existants ont été démarrés, notamment sur la prise en compte d'une distribution de tailles de cavités.

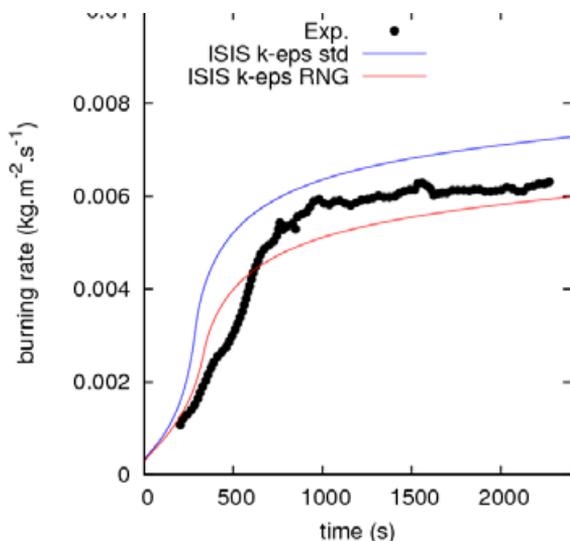


Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Ahmed KACEM
Date du début de la thèse :	07/09/1988
Laboratoire :	PSN-RES/SA2I/LIE
Financement de thèse :	IRSN/région PACA
Directeur de thèse :	Bernard Porterie - IUSTI-Marseille
Tuteur de thèse :	Sylvain Suard
École doctorale :	Université Aix-Marseille / ED353

Les incendies font partie des risques majeurs dans les installations nucléaires et industrielles. Ainsi, pour prévenir ces risques et évaluer leurs conséquences sur l'installation et l'environnement, la simulation numérique se présente comme un moyen potentiellement performant et peu coûteux. Actuellement, une des principales difficultés pour réaliser une simulation dite prédictive est de quantifier le terme source de l'incendie, à partir de la connaissance des matériaux combustibles et de l'environnement. Il s'agit en particulier de déterminer la perte de masse du combustible ainsi que les conditions d'allumage et d'extinction du feu en fonction du milieu environnant. Cette perte de masse, appelée également taux de pyrolyse, est le paramètre primordial permettant de déterminer l'évolution de la puissance du feu au cours du temps et ses conséquences sur l'installation.



Le combustible considéré lors de ce travail de recherche est un polymère, le PMMA (Polyméthacrylate de méthyle), utilisé dans l'industrie (ex : boîtes à gants dans le domaine nucléaire) et dans les études académiques portant sur la sécurité incendie. Un des objectifs est donc de correctement simuler les phénomènes physiques et chimiques qui ont lieu dans les phases gazeuse et solide tout en considérant le couplage de ces deux phases. La modélisation doit, pour cela, être suffisamment exhaustive afin de représenter finement la turbulence de l'écoulement, la combustion en phase gazeuse avec production de suies ainsi

que les transferts radiatifs et la dégradation de la phase condensée.

Dans le cadre de cette étude, un modèle de pyrolyse prenant en compte la dégradation thermique dans la profondeur du solide est en cours d'implémentation et de validation dans le code CFD ISIS de l'IRSN. A terme, les installations nucléaires étant généralement considérées comme des milieux très fortement confinés et sous-oxygénés, l'effet de la sous-oxygénation sur l'évolution du terme source de l'incendie sera étudié. Dans cette configuration, la viciation de l'air est un paramètre important car celui-ci influe sur les réactions en phase gazeuse et la production de suie et par conséquent sur le taux de pyrolyse du combustible.

Le modèle développé sera validé sur les essais réalisés en milieu normalement oxygéné à l'IUSTI et sous-oxygéné à l'IRSN dans le dispositif CADUCEE.

Sujet de la thèse :

Étude par similitude du couplage des effets thermiques et du vent sur les transferts de masse dans les réseaux aérauliques des bâtiments complexes.

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

Le confinement des matières radioactives au sein d'une installation nucléaire est assuré par un réseau de ventilation conçu pour maintenir un écoulement d'air des locaux les moins à risques vers ceux qui présentent le plus de risques. Néanmoins, ceci peut être significativement perturbé en cas de vent important susceptible de créer localement des zones de dépression ou de surpression autour de l'installation.

Une méthodologie permettant de reproduire à échelle réduite les effets du vent sur un réseau de ventilation existe déjà. Cependant, celle-ci prend en compte uniquement les écoulements isothermes. L'objectif de cette thèse qui fait l'objet d'une collaboration entre l'IRSN, le CSTB et l'Université de la Rochelle sera donc de faire évoluer cette méthodologie en y intégrant les aspects thermiques. Ainsi, les scénarios à considérer sont des cas de dégagements thermiques générés par un procédé industriel ou un incendie, en présence de vent. De plus, le cas où le réseau de ventilation est arrêté sera à prendre en compte. C'est en effet dans cette situation que les sources de chaleur et le vent ont un impact le plus important sur les transferts de masse dans le réseau de ventilation.

Ce travail doit également permettre de valider, pour ces scénarios, le code à zones SYLVIA développé par l'IRSN.

La démarche sera la suivante :

1. élaboration d'une maquette de réseau de ventilation instrumentée au moyen d'une approche par similitude ;
2. réalisation d'essais avec la maquette dans la soufflerie du CSTB ;
3. comparaison des résultats expérimentaux avec des résultats calculés avec le code SYLVIA.

Outre un travail de synthèse bibliographique, les travaux menés à ce jour ont consisté à adimensionner les équations implémentées dans le logiciel SYLVIA. Cette étape a mis en évidence des nombres adimensionnels dont la conservation entre les échelles réelles et réduites servira de base pour la conception de la maquette. D'ores et déjà, il a été identifié que cette conservation ne pourra être strictement respectée pour tous ces nombres. C'est notamment le cas du nombre de Mach qui apparaît dans les bilans de masse et d'énergie.

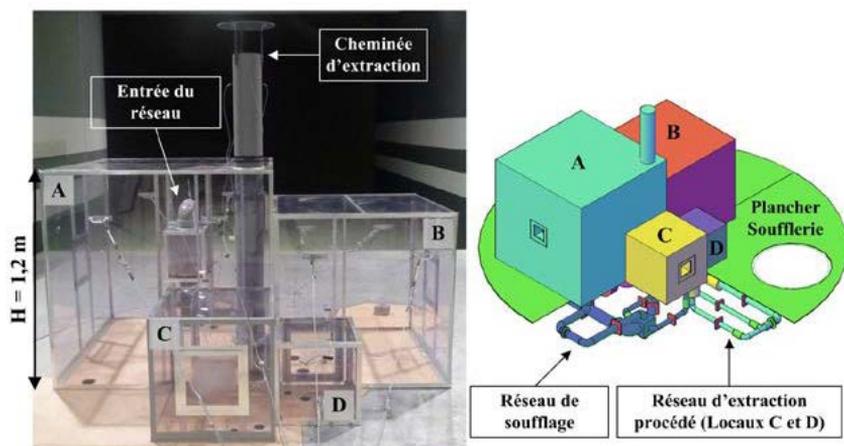


Figure 1 : Vue et plan de la maquette d'une configuration de réseau de ventilation utilisée en soufflerie pour étudier les effets du vent pour un écoulement isotherme

Sujet de la thèse :

Aide au diagnostic en contexte incertain par réseau bayésien et réseau de croyance : application aux diagnostics de situation d'accidents nucléaires.

Doctorant :	Ahmed MABROUK
Date du début de la thèse :	15/11/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SAG/LETR
Financement de thèse :	IRSN et BelV
Directeur de thèse :	Christophe GONZALES / Université Pierre et Marie CURIE
Tuteur de thèse :	Karine CHEVALIER-JABET et Eric CHOJNAKI
École doctorale :	École doctorale de l'université Pierre et Marie Curie (UPMC)

Ce travail de recherche a pour but le développement d'un outil d'aide au diagnostic en situation d'accident nucléaire grave. L'outil développé se base principalement sur :

- l'utilisation des réseaux bayésiens, qui permettent d'acquérir, de capitaliser et d'exploiter des connaissances incertaines sous forme structurelles probabilistes et statistiques. Ces modèles issus de l'intelligence artificielle, peuvent être vus comme un outil de simulation qui permet à l'expert d'observer le comportement de son système dans des contextes qu'il n'est pas forcément capable de tester lui-même,
- le retour d'expérience de l'utilisation du logiciel de simulations d'accidents graves ASTEC.

Étant donné la cinétique du déroulement de l'accident grave, la forme des données générées avec ASTEC ainsi que le but d'utilisation des réseaux bayésiens nous avons pris les orientations suivantes :

- l'apprentissage de structure et des paramètres des réseaux bayésien dynamiques non stationnaires afin de modéliser efficacement les mesures des variables physiques qui sont susceptibles d'évoluer au cours du temps,
- le développement de méthodes de discrétisation des données issues de la simulation avec ASTEC, afin d'éviter un certain nombre de problèmes qui se posent avec les données continues, notamment au moment d'apprentissage des réseaux bayésiens,
- la prise en compte du problème de coexistence des relations probabilistes et déterministes entre les variables caractéristique de la physique des accidents graves lors de l'apprentissage de structure.

Dans ce qui suit, nous présentons une nouvelle approche d'apprentissage de structure du réseau bayésien à partir des données, qui englobent notamment des relations déterministes entre certaines variables. Dans un second temps, nous proposons des benchmarks pour tester notre approche en comparant les résultats de notre algorithme avec des résultats connus (figure1).

Mots clés : réseau bayésien, structure, ASTEC, probabilités, inférence probabiliste

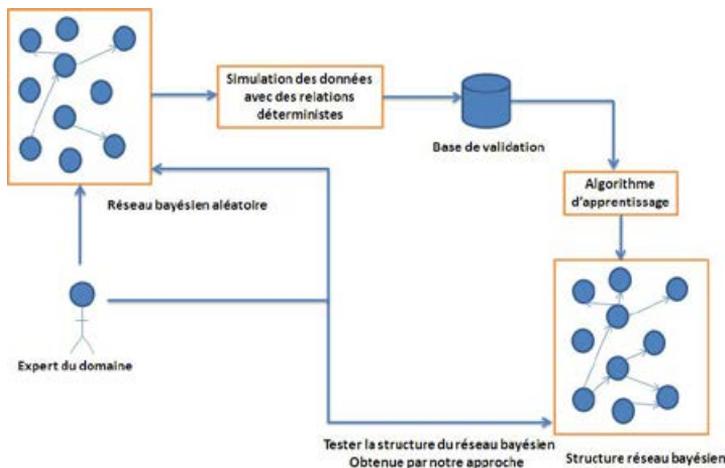


Figure 1 : Validation de notre approche d'apprentissage de structure

Sujet de la thèse :

Identification de modèles thermo-mécaniques de zones cohésives pour des sollicitations complexes.

Doctorant :	Tarik MADANI
Date du début de la thèse :	18/11/2012
Laboratoire :	LMGC Montpellier (laboratoire commun MIST
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Bertrand Wattrisse
Tuteur de thèse :	Yann Monerie
École doctorale :	Montpellier II - Information, Structures, Systèmes (I2S) - ED166

Les modèles de zone cohésive, introduits dans les années 60 (Dugdale et de Barenblatt) sont efficaces pour simuler numériquement les processus de fissuration des matériaux. Sur le plan numérique, ils consistent à introduire des comportements adoucissants à la frontière d'éléments « volumiques » d'une discrétisation de type éléments finis, permettant ainsi la simulation numérique de l'initiation et de la croissance des fissures jusqu'à la rupture.

Ce travail consiste à étendre une approche récemment proposée par Richefeu (2010) et Wen (2012) pour identifier la forme et les paramètres de lois de zones de cohésives dans des matériaux ductiles pour des sollicitations simples et quasi-statiques à des situations plus représentatives du confinement des crayons de combustible.

Pour traiter ces applications où les champs mécaniques sont hétérogènes, il est nécessaire d'accéder localement à des informations de différentes natures (calorimétriques, cinématiques et sthéniques) afin de construire le bilan d'énergie associé à la transformation.

On propose ici d'estimer les champs de contraintes grâce à une méthode d'identification utilisant les données issues de l'imagerie mécanique et thermique. Ce type d'approche, déjà mise en œuvre dans le cas de l'élasticité et de la plasticité uniquement pour des mesures cinématiques, devra être étendue pour intégrer la contribution des sources de chaleur.

Le développement des techniques d'imagerie en mécanique, telles que, la corrélation d'images numériques et la thermographie infrarouge, donne accès aux champs de déformation ainsi qu'aux sources de chaleur. Avec ces moyens il est désormais possible de faire une détermination fine des caractéristiques mécaniques des matériaux. On s'appuie pour cela sur une méthode, basée sur la minimisation d'une fonctionnelle énergétique. Les caractéristiques mécaniques seront ainsi obtenues à partir des conditions aux limites sur la structure (efforts et déplacement), du champ de déformation et de sources de chaleur.

Ce travail de thèse s'articulera autour de quatre thèmes complémentaires :

- 1/développer et instrumenter des essais mécaniques hétérogènes pour appliquer des chargements locaux complexes,
- 2/faire évoluer les outils de traitement d'image utilisés pour la réalisation de bilans d'énergie afin de les adapter au cas de la fissuration,
- 3/proposer une stratégie d'identification des comportements volumiques et surfaciques utilisant toute l'information contenue dans les champs de mesures issus de l'imagerie cinématique et calorimétrique,
- 4/ éprouver la validité des comportements mis en évidence sur des essais complémentaires.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :

Anthony RONDEAU

Date du début de la thèse :

12/12/2012

Laboratoire :

PSN-RES/SCA/LPMA

Financement de thèse :

IRSN

Directeur de thèse :

Eric Chassefière - Université Paris Sud

Tuteur de thèse :

Jean-Christophe Sabroux

École doctorale :

MIPEGE - ED 534

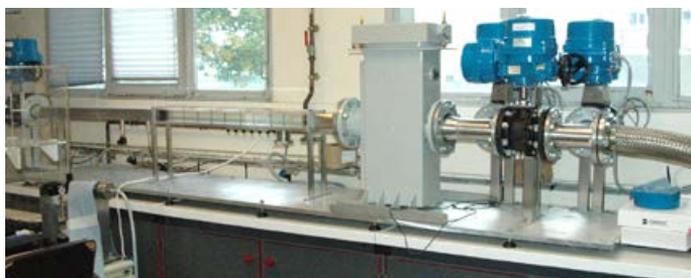
Lors de son fonctionnement normal, il est attendu une production massive de poussières dans le futur tokamak ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Ces poussières, provenant de l'érosion des parois internes du tore par le plasma, sont potentiellement mobilisables lors d'un accident de perte de vide. Dans un objectif de sûreté, il est indispensable de quantifier le taux de poussières mobilisées au cours d'un tel accident. Le but étant d'évaluer les différents risques (risque d'explosion de poussières ou d'hydrogène, risque radiologique et chimique) liés à la mise en suspension des particules.

Les travaux de thèse ont débuté par une étude exhaustive des poussières générées dans les tokamaks expérimentaux en exploitation. Nous avons eu notamment accès au tokamak ASDEX-Upgrade (Axially Symmetric Divertor EXperiment) lors d'une campagne de maintenance, ce qui a permis de collecter des particules de tungstène spécifiques à ce type de tokamak, à l'aide d'un appareil d'aspiration ad hoc. L'analyse de ces particules montre une distribution granulométrique bimodale (0,7 μm et 1,9 μm) ainsi que des morphologies bien distinctes («floconneuses» et sphériques), associées à chacun de ces deux modes.

Grâce à des mesures par PIV (Particle Image Velocimetry), nous avons caractérisé l'écoulement d'air, dans la soufflerie BISE (Blowing facility for airborne releaSE) d'un volume de quelques litres, en fonction de la vitesse et de la pression (> 200 mbar). Actuellement, les premières expériences de mise en suspension de dépôts mono- et multi-couche(s), sont en cours. La mise en suspension est caractérisée par techniques de pesée, méthodes optiques et microscopie.

A terme, les résultats des essais BISE permettront de développer le modèle de mise en suspension dit Rock'n Roll, en prenant en compte la réduction du frottement à basse pression, et de fournir un ensemble de données nécessaire à la validation du code DUST de l'IRSN.

D'autres expériences de mise en suspension à grande échelle (volume de 50 m³) sont très prochainement prévues dans la soufflerie de l'Université d'Aarhus (Danemark), permettant de descendre à la pression de l'atmosphère martienne (7 mbar).



Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Benoît SABOT
Date du début de la thèse :	25/08/2012
Laboratoire :	IRSN/PSN-RES/SCA/LPMA et CEA/DRT/LIST/DM2I/LNHB
Financement de thèse :	IRSN / CEA-LNHB
Directeur de thèse :	Philippe Cassette - CEA-LNHB
Tuteur de thèse :	Nathalie Michielsens (IRSN) - Sylvie Pierre (CEA)
École doctorale :	Paris XI - MIPEGE

Le radon est la principale source naturelle d'irradiation et fait l'objet de mesures permanentes dans l'environnement. Le but général de cette thèse est d'améliorer l'évaluation de l'exposition des travailleurs et du public au radon. Pour cela, les instruments de mesure utilisés sur le terrain ont besoin d'être caractérisés au mieux, en termes d'étalonnage et de réponse par rapport à des paramètres d'influence. L'objectif de cette étude est de développer un système de production et de mesure en ligne de l'activité volumique du thoron (^{220}Rn), traçable aux étalons nationaux d'activité. Elle s'inscrit à la fois dans la métrologie fondamentale, la production d'étalons, et dans la métrologie appliquée pour lier les instruments de terrains à ces étalons.

Dans un premier temps l'étude a consisté à utiliser des calculs Monte Carlo (MCNPX) pour définir un volume de mesure de référence contenant un détecteur alpha silicium afin de mesurer une activité volumique en thoron. La validation du principe de mesure du thoron est réalisée à l'aide d'une injection d'un étalon primaire de radon (^{222}Rn) fondée sur la mesure alpha à géométrie définie d'une source de radon gelée à 80 K. Cette première étude a permis de mettre en évidence la faisabilité du dispositif de mesure volumique mais aussi les contraintes apportées par le dépôt des descendants particuliers sur les parois du volume.

Une étude bibliographique a permis de prendre connaissance des propriétés électriques des descendants du thoron et du radon ainsi que des différents facteurs intervenant dans leurs neutralisations. Pour utiliser ces propriétés électriques, une nouvelle géométrie a donc été conçue, elle permet de capturer les descendants solides des deux gaz à la surface du détecteur. Cette partie de l'étude a été réalisée à l'aide d'un code déterministe (Comsol 4.3a). Il permet d'étudier le champ électrique mais aussi le comportement des aérosols dans le volume et ainsi d'optimiser sa forme et ses dimensions. Suite à ces travaux, un prototype va être réalisé.

La suite de la thèse va consister à définir les différents facteurs d'influence intervenant dans les mesures et de qualifier ce nouveau dispositif en utilisant le banc primaire radon du LNHB puis le banc BACCARA du LPMA.

Sujet de la thèse :
Schémas numériques pour la modélisation de l'explosion.

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

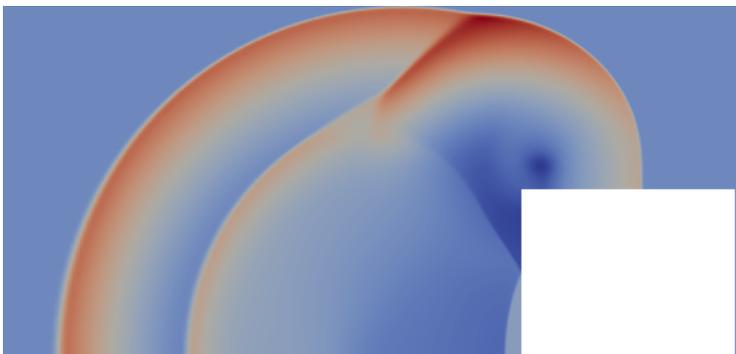
Dans les installations nucléaires, les explosions, qu'elles soient d'origine interne ou externe, peuvent entraîner la rupture du confinement et le rejet des matières radioactives dans l'environnement. Afin de pouvoir simuler les conséquences d'un tel accident, l'IRSN a récemment décidé de se doter d'un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

Il s'agit de développer une classe de schémas permettant de résoudre numériquement le système d'équations aux dérivées partielles qui modélise le processus d'explosion. Dans un premier temps on s'intéressera au système hyperbolique regroupant les équations d'Euler qui permet de caractériser le comportement d'un écoulement non visqueux et sans conductivité thermique en calculant sa vitesse, sa pression et sa densité. Il est constitué des équations de bilan de masse, de quantité de mouvement et d'énergie totale de l'écoulement.

Une classe de schémas explicites en temps de type volumes finis à mailles décalées a d'ores et déjà été développée au sein du laboratoire dans le cadre de travaux de thèse précédents. Les travaux de première année ont consisté en une reprise de ces schémas et une amélioration de leur précision en espace via des techniques d'interpolation affines de type MUSCL. Afin de pallier à certaines instabilités du schéma un modèle de viscosité résiduelle numérique a été rajouté au schéma. La stabilité du schéma suivant de nouvelles conditions CFL a été prouvée ainsi que la consistance du schéma par rapport aux équations du modèle continu.

Une implémentation a été effectuée dans le code CALIF développé par l'IRSN. Les résultats théoriques ont été validés numériquement en dimension 1 ainsi qu'en dimension 2. L'exemple de la propagation d'une onde de surpression consécutive à une explosion en présence d'un obstacle est donné en exemple. Afin d'observer le gain en précision, une étude de taux de convergence a été effectuée en 1D via des comparaisons d'erreurs numériques.

Les perspectives pour les 2 années de thèse restantes s'orientent autour de deux axes. Premièrement une extension du travail effectué sur les schémas explicites vers les schémas de types implicite à correction de pression (pour les équations d'Euler). Deuxièmement, une adaptation des schémas à des systèmes plus complexes modélisant l'explosion est envisagée.



Propagation d'une onde de surpression en présence d'obstacle

Sujet de la thèse :

Étude de la diffusion de l'hydrogène dans les alliages de Zirconium des gaines de combustible nucléaire et de son interaction avec le chargement mécanique.

Doctorant :

Elodie TORRES

Date du début de la thèse :

07/01/2013

Laboratoire :

PSN-RES/SEREX/LE2M

Financement de thèse :

IRSN - EDF

Directeur de thèse :

Marie-Christine Baietto - INSA Lyon
Michel Coret - École Centrale Nantes

Tuteur de thèse :

Jean Desquines

École doctorale :

MEGA - INSA de Lyon

Lors d'un Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP) sur un réacteur nucléaire à eau pressurisée, une brèche sur le circuit primaire entraîne une dépressurisation puis un dénoyage partiel du cœur. La température des gaines des crayons combustibles augmente alors très rapidement et peut atteindre 1200°C pendant quelques minutes. Une fraction des atomes d'hydrogène produit lors de la corrosion en fonctionnement normal par radiolyse de l'eau puis lors de l'oxydation haute température en situation accidentelle, pénètre dans le métal.

L'objectif de cette thèse est de comprendre comment l'hydrogène diffuse dans le métal de la gaine, et comment il contribue à la fragilisation du matériau, en particulier lors des sollicitations mécaniques induites par la trempe lors du renoyage du cœur.

Pendant l'accident, le métal subit un changement de microstructure caractérisé par :

- (1) Une transformation allotropique de la phase α -Zr en phase β -Zr, associée à la diffusion d'oxygène des parois vers l'intérieur de la gaine (figure 1).
- (2) Une croissance de la taille des grains dans le matériau.
- (3) Une migration de l'hydrogène contenu dans le métal vers la phase β qui présente une forte affinité pour cet élément. La compréhension de la fragilisation de la gaine nécessite de déterminer sa localisation précise et de comprendre les principaux mécanismes gouvernant sa diffusion.

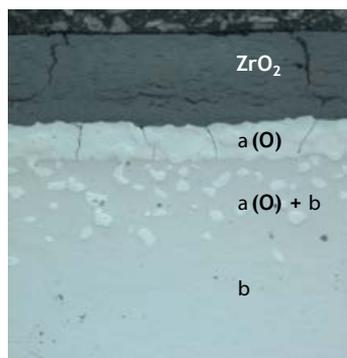


Figure 1 : Microstructure de la gaine après un transitoire thermique de type APRP

La première partie de la thèse a consisté à étudier les mécanismes d'adsorption et de diffusion de l'hydrogène dans la gaine.

Des tubes en Zircaloy-4 ont été chargés en hydrogène par voie gazeuse à 420°C. Les mesures de vitesse de chargement ainsi que les analyses effectuées sur ces échantillons permettent à la fois d'étudier la localisation de l'hydrogène et sa mobilité dans la gaine.

Un outil de calcul a été élaboré pour simuler la cinétique de chargement en hydrogène et sa diffusion dans le métal. Il a été construit à partir des résultats expérimentaux obtenus au laboratoire puis validé à partir des expérimentations connues à ce jour dans la littérature.

Par la suite, il est prévu d'étendre les conditions de chargement à des températures plus élevées pour se rapprocher des conditions de l'APRP. Il apparaît également nécessaire de caractériser simultanément la mobilité de l'hydrogène et de l'oxygène et de déterminer les conséquences sur la tenue mécanique de la gaine.

Sujet de la thèse :

Chimie de l'iode dans l'atmosphère.

Doctorant :	Julien TRINCAL
Date du début de la thèse :	Octobre 2012
Laboratoire :	IRSN-RES/SAG/LETR - C3R (labo commun)
Financement de thèse :	IRSN et BelV organisme de sûreté Belge
Directeur de thèse :	Valérie Fevre-Nollet (Univ. Lille 1-PC2A), Laurent Cantrel (IRSN)
Tuteur de thèse :	Frédéric Cousin (IRSN), Patrick Lebègue (Univ. Lille 1-PC2A)
École doctorale :	Univ. Lille 1 / ED SMRE

Les codes de calculs utilisés à l'IRSN en cas de rejets accidentels de radiocontaminants depuis une installation nucléaire ne tiennent compte que des effets de dispersion et de rabattement, et considèrent donc le terme source inerte chimiquement. Pour l'iode dont la réactivité dans l'atmosphère est amplement discutée dans la littérature, cette hypothèse est clairement à reconsidérer.

Lors de l'accident de Fukushima, les simulations ont permis de définir des quantités de Césium relativement proches de celles mesurées sur le terrain, ce n'est pas le cas pour l'iode. Cette disparité pourrait peut-être s'expliquer par la non prise en compte de la réactivité chimique de l'iode dans l'atmosphère, et qui pourrait avoir un impact significatif sur la dispersion des rejets en iode et donc des conséquences radiologiques.

Le but de cette thèse est de coupler un mécanisme cinétique de la chimie de l'iode avec un code de dispersion atmosphérique, et d'évaluer l'impact potentiel de cette réactivité sur les résultats de la simulation d'un accident de référence qui reste à définir.

La première année de cette thèse a consisté à la mise au point d'un mécanisme cinétique de l'iode dans l'atmosphère, le plus réduit possible afin de limiter les temps de calculs, tout en préservant les réactions prépondérantes. Ainsi une large étude bibliographique a été effectuée et a permis d'établir un mécanisme constitué de 153 réactions faisant intervenir l'iode dans le système élémentaire { I - H - O - N - Br - Cl - C }.

Au cours de la seconde année, ces réactions vont être ajoutées à des mécanismes de chimie atmosphérique tels que RACM [1], axés autour de la chimie des polluants (O₃, NO_x) et des espèces carbonnées (VOC). RACM regroupe les espèces par catégories, suivant leurs différents groupements réactionnels (alcane, alcools, aldéhydes, ...). Ainsi les 153 réactions pour l'iode seront réduites au besoin de ces catégories, et des études de sensibilité seront effectuées dans différentes configurations représentatives d'accidents. Ceci conduira à finaliser le mécanisme principal de l'iode dans l'atmosphère.

Après une étape de validation du mécanisme sur certaines mesures atmosphériques, il sera incorporé dans la plateforme Polyphémus [2], et des simulations permettront d'évaluer l'impact de la réactivité de l'iode sur les dépôts pour un scénario accidentel donné.

[1] RACM : Regional Atmospheric Chemistry Model, Stockwell et al. (1998)

[2] Polyphémus : système complet de simulation de la qualité de l'air, mis au point au CERE (Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique).

Schéma représentatif de la chimie de l'iode inorganique dans l'atmosphère, présenté par Sommariva et al. (2012). Ils présentent les incertitudes cinétiques sur la chimie de l'iode et leurs conséquences, par simulations en box-model.

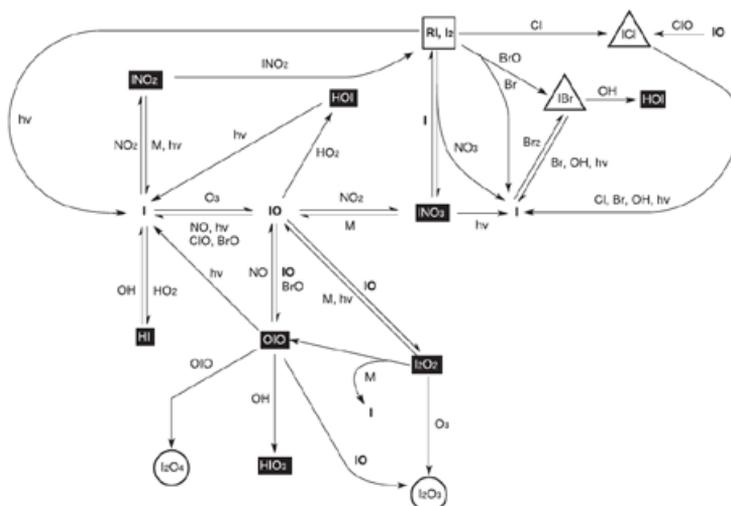


Fig. 1. Inorganic iodine gas-phase chemistry. The unfilled square indicates the iodine source – I_2 or iodinated hydrocarbons [RI] – the circles indicate the species thought to be involved in new particle formation and the triangles indicate inter-halogen species. Species for which aerosol uptake represents a significant sink are shown in white on black background. Only the most important reactions and species are shown, for the complete mechanisms see [Tables A.1–A.4](#).

Sujet de la thèse :

Étude de l'écoulement de fumée à travers une trémie reliant deux compartiments ventilés mécaniquement.

Doctorant : Kevin VARRALL
Date du début de la thèse : 01/10/2012
Laboratoire : PSN-RES/SA2I/LEF
Financement de thèse : IRSN
Directeur de thèse : Olivier VAUQUELIN, Université Aix-Marseille, Laboratoire IUSTI
Tuteur de thèse : Hugues PRETREL (PSN-RES/SA2I/LEF) et Samuel VAUX (PSN-RES/SA2I/LIE)
École doctorale : ED 353 Science pour l'ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique

La thèse concerne la propagation des fumées d'incendie dans une installation nucléaire constituée de locaux interconnectés entre eux par des ouvertures et mécaniquement ventilés. L'écoulement étudié est celui à travers une ouverture à section horizontale (trémie) reliant deux enceintes situées l'une au-dessus de l'autre. L'objectif de ce travail est de proposer une modélisation de cet écoulement permettant aux outils numériques de l'IRSN de pouvoir en évaluer l'impact sur la sûreté des installations.

La première année de thèse a été consacrée à l'étude bibliographique. Les travaux de Epstein (1988), Epstein et Kenton (1989) et Tan et Jaluria (1992) traitant la configuration instable où la densité des gaz du local inférieur est plus faible que celle des gaz du local supérieur, montrent l'existence de plusieurs régimes d'échange. Ces régimes sont liés aux caractéristiques géométriques de la trémie (rapport L/D) ainsi qu'à celles de la ventilation (à travers une différence de pression ΔP à la trémie) et de la chaleur des gaz (différence de masse volumique $\Delta \rho$). Selon les scénarios accidentels, l'écoulement peut alors être bidirectionnel (avec ou sans diffusion), ou monodirectionnel.

Conover *et al.* (1995) observent des régimes pulsés et en déterminent les différentes fréquences. Lubin et Springer (1967) et Spratt et Heselden (1974) s'intéresse à un écoulement monodirectionnel bi-fluide appelé poinçonnement. Des essais (Le Quesne 2010) et des analyses (Liberati 2012) récents ont montrés l'insuffisance des modèles actuels (Cooper 1989 et 1994) pour la prédiction (avec les codes à zones), des risques associés à ce type de propagation de fumée.

Lors de cette première année, une seconde partie s'est concentrée sur l'élaboration d'une approche analytique découplant les phénomènes physiques (diffusion et convection massiques et les transferts thermiques). Un programme d'expérimentation à échelle réduite impliquant deux liquides non miscibles (eau/essence) puis deux gaz (air/hélium) de différentes densités a été entrepris dans le but d'identifier les régimes d'écoulements (mono ou bi-directionnel, stationnaire ou pulsé) et d'en caractériser le comportement. Ces essais sont menés sur des maquettes équipées de diagnostics de mesure avancés (stéréo PIV) permettant une description complète des champs de vitesse au sein de l'écoulement. Ces expérimentations servent de support à l'élaboration et la validation de modèles théoriques.

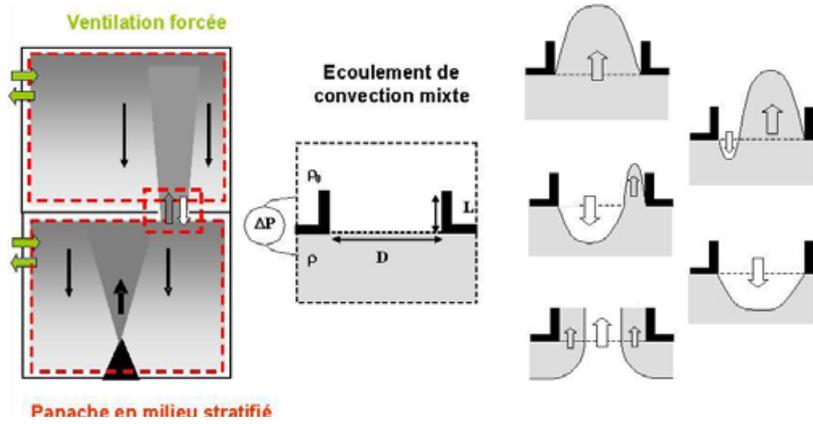
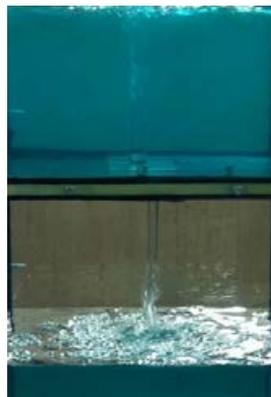


Illustration des régimes d'écoulements à une trémie



Expérimentation en fluides non-miscibles

Sessions posters

doctorants de 1ère année

Pôle radioprotection : transfert et dispersion de radionucléides, sismologie, métrologie, radiotoxicologie, radiobiologie, épidémiologie

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

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

Ikram FATNASSI, Diffusion de radionucléides en conditions physico-chimiques hors équilibre au travers de roches argileuses indurées : expérimentation versus simulation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Sujet de la thèse :

Accumulation de l'uranium, de ses descendants et des éléments traces métalliques dans les zones humides autour des anciens sites miniers.

Doctorant :	Alicia CUVIER
Date du début de la thèse :	15/10/2012
Laboratoire :	PRP-ENV/SESURE/LERCM et-EcoLab
Financement de thèse :	région Midi-Pyrénées/IRSN
Directeur de thèse :	Anne TANIÈRE - Université de Nancy
Tuteur de thèse :	Laurent Pourcelot (IRSN)/Gaël Le Roux (EcoLab)
École doctorale :	Université Paul Sabatier, SDU2E

Des études récentes montrent l'existence de zones d'accumulation préférentielle des radionucléides et des éléments traces métalliques dans l'environnement des anciens sites miniers, principalement contrôlées par les cours d'eau et la direction des vents couvrant le secteur. Dans ces environnements, les zones humides présentent des potentialités de piégeage importantes du fait des conditions réductrices et hydromorphes et des propriétés de la matière organique.

Deux anciens sites miniers Bertholène, dans l'Aveyron et St Alban sur Limagnole, dans la Lozère sont étudiés. Les données de ces sites sont comparées à celles d'un site naturellement enrichi en uranium (Etang de Bassiès, Pyrénées). L'objectif de cette étude est la compréhension des mécanismes de piégeages des radionucléides à différentes échelles, afin d'identifier les potentialités de relargage. Pour cela, une étude multi-échelle des accumulations depuis la cartographie de terrain en spectrométrie gamma in situ à l'étude des phases porteuses des contaminants via les techniques d'extraction séquentielle, a été mise en place.

Les premiers résultats montrent que le site de Bertholène présente une accumulation de radionucléides dans une parcelle inondable située en aval du site, alimentée par le ruisseau des Balaures qui traverse le site minier, avec un déséquilibre au sein des chaînes de l'²³⁸U et de l'²³⁵U et une répartition différente du radium et de l'uranium au sein de cette parcelle, suivant le ruisseau. La signature radiologique de cette zone d'accumulation est proche de celle des sédiments du ruisseau des Balaures, indiquant que les sédiments constituent une source de contamination secondaire, qui se superpose au fond radiologique. Les tourbières localisées en amont semblent montrer un piégeage d'aérosols potentiellement issus de l'activité minière (enrichissement en uranium, vanadium, plomb et arsenic notamment).

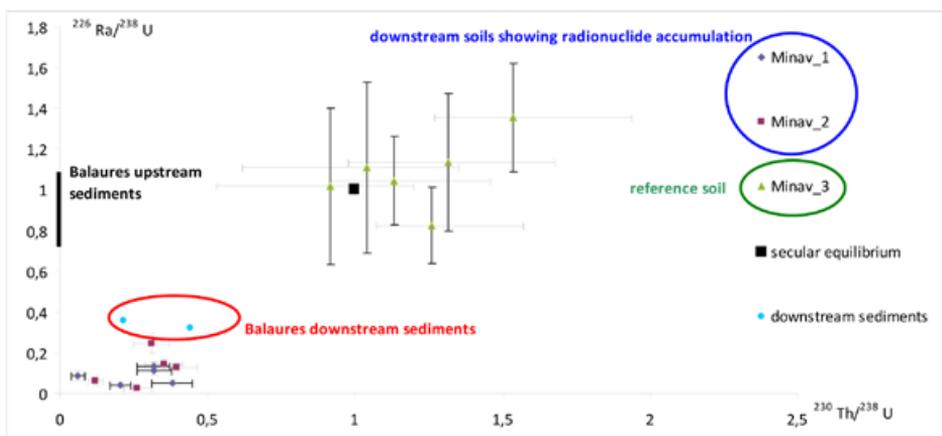


Figure 1 : Rapport d'activité de descendants de l'²³⁸U de deux sols contaminés (Minav1 et Minav2), d'un sol de référence (Minav3) situés en aval du site minier et des sédiments du ruisseau des Balaures, prélevés en amont et en aval de l'ancien site minier de Bertholène

Sujet de la thèse :
Évaluation de l'activité tectonique quaternaire des failles du Jura Méridional.

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

A l'intérieur de l'ensemble jurassien, des accidents verticaux décrochants affectent une série sédimentaire déformée de 2 à 3 km d'épaisseur ainsi que les structures géologiques. Ces failles sont associées à une sismicité historique et instrumentale. Trois d'entre elles concernent la région étudiée (du Nord au Sud): la Faille du Vuache, la Faille de Culoz, la Faille du Col du Chat. Avant de rejoindre les lacs alpins (Le Bourget et Annecy), ces failles traversent des plaines alluviales : secteur de Sillingy/Epagny/Meythet pour la Faille du Vuache (séisme de 1996), Marais de Lavours et de Chautagne pour la Faille de Culoz (séisme de 1822) (voir figure).

L'estimation du potentiel sismique des failles étudiées est abordée sous deux angles complémentaires. (1) : nous tâchons de mettre en évidence l'occurrence d'événements sismiques majeurs et de leur éventuelle récurrence par la recherche des traces qu'ils auraient pu laisser dans l'enregistrement géologique récent. (2) : nous cherchons à démontrer si l'activité sismique actuelle, distribuée à la fois dans le socle et dans la couverture, est issue ou non d'un couplage mécanique entre ces deux unités. Ce point est crucial afin de déterminer le potentiel sismogénique des failles, contrôlé par leur dimension géographique et leur profondeur d'enracinement.

Pour ce faire, différentes approches sont utilisées :

- Une approche structurale qui s'attache à relier la localisation épacentrale des séismes enregistrés par le réseau sismologique SISMALP aux structures géologiques.
- Une approche paléosismologique qui recherche et caractérise les traces laissées en surface par d'éventuels séismes majeurs qui auraient pu se produire sur les failles du Vuache et de Culoz.
- Une approche de géophysique profonde (quelques km) basée sur l'étude de profils sismiques industriels retraités et visant à caractériser l'enracinement ou non des failles étudiées dans le socle sous-jacent.
- Une approche sédimentologique à partir de la réinterprétation et l'acquisition de profils sismiques lacustres (1991, 1993 et 2013) visant à caractériser la récurrence des séismes durant l'Holocène dans le lac du Bourget pour étudier la faille de Culoz et dans le lac d'Annecy pour la faille du Vuache.

Les premiers résultats prometteurs obtenus ainsi que leurs implications seront présentés.



Figure : Carte du bassin savoyard. La localisation du séisme instrumental d'Epagny (1996) et celle présumée du séisme historique de Chautagne (1822) sont reportées sur la figure. Noter également le séisme d'Aix les Bains de novembre 1956 attestant l'activité de la faille du Col du Chat et celui d'Annecy de 1939.

Sujet de la thèse :

Diffusion de radionucléides en conditions physico-chimiques hors équilibre au travers de matériaux argileux : expérimentation vs simulation.

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

Le stockage dans les formations argileuses profondes est l'option privilégiée par plusieurs pays pour la gestion des déchets nucléaires HA-MAVL. L'évolution à long terme de ces stockages profonds devrait être majoritairement régie par des processus géochimiques susceptibles de modifier les propriétés de confinement des matériaux naturels et artificiels, principalement aux interfaces. La prise en compte des effets de colmatage/dissolution dans les simulations de la migration des radionucléides pose problème, notamment à cause du manque d'expériences quantitatives utilisées pour calibrer les modèles numériques. Même si la diffusion est considérée comme le processus de transport dominant dans le contexte d'un stockage géologique, seules des expériences d'advection ont été utilisées pour étudier l'effet de colmatage.

L'objectif de cette thèse est de tester la robustesse et la sensibilité des modèles numériques à reproduire des expériences de diffusion avec colmatage/dissolution au travers de matériaux de complexité croissante. Des premiers tests ont été réalisés sur un matériau poreux inerte (sable). Le dispositif expérimental est constitué d'une cellule de « diffusion à travers » transparente servant à visualiser l'apparition d'un précipité. Premièrement, le matériel poreux a été caractérisé via une expérience de diffusion du deutérium. Ensuite, un nouveau traçage au deutérium a été lancé simultanément à une expérience de colmatage faisant intervenir des solutions de CaCl_2 et de $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$. En parallèle, des simulations ont été réalisées avec les codes HYTEC 3.7 (École des Mines) et Crunch pour étudier leur sensibilité vis-à-vis de différents paramètres (maillage, pas de temps, cinétique).

Les résultats montrent l'apparition d'un précipité d'oxalate de calcium associé à une diminution du flux de deutérium (Figure 1). La présence de larges pores au sein du sable recompacté, pouvant rendre difficile un colmatage total de la porosité, pourrait expliquer le fait que le flux de deutérium ne soit pas nul. Enfin, les simulations montrent d'une part, un écart entre les deux codes imputable aux différents modèles utilisés pour l'évolution des surfaces réactives et, d'autre part, avec les données expérimentales.

Ces expériences de diffusion/colmatage seront prochainement réalisées sur des matériaux cohésifs plus homogènes (frittés de quartz) et présentant différentes distributions de taille de pore.

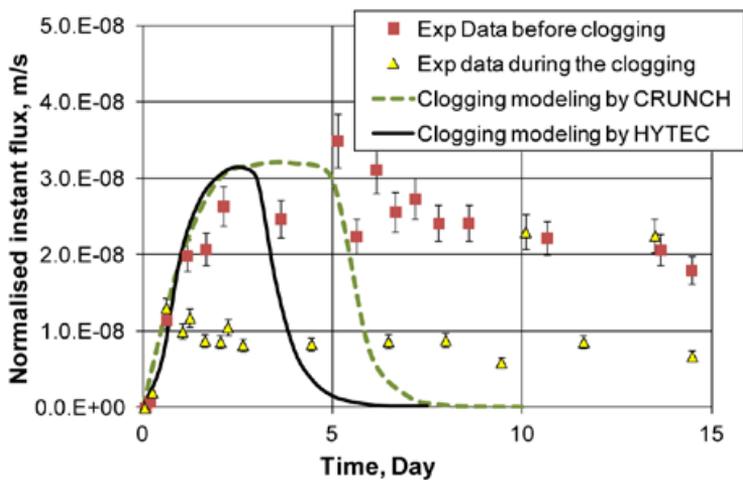


Figure 1: Courbe de flux du deutérium (comparaison entre Crunch, Hytec et données expérimentales)

Sujet de la thèse :

Modifications épigénétiques induites chez le poisson zèbre par une exposition chronique à des radionucléides.

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

Cette thèse s'intègre dans le cadre général de l'évaluation des effets d'une exposition chronique à de faibles doses de radionucléides. Cette évaluation passe nécessairement par l'étude des mécanismes d'action toxique à l'échelle cellulaire voire subcellulaire, afin de mieux comprendre les processus de propagation d'effets jusqu'au niveau de la population voire des écosystèmes.

A ce titre, la question des mécanismes sous-tendant les effets transgénérationnels et la capacité adaptatrice des organismes est centrale, tant chez l'homme que chez les espèces animales.

L'épigénétique, discipline étudiant les modifications de la fonction des gènes sans modification de la séquence de l'ADN, et qui sont transmissibles de manière héréditaire par mitose ou méiose, joue un rôle clé dans ces effets transgénérationnels. Le statut de méthylation de l'ADN est un des paramètres majeurs étudiés en épigénétique, sur lequel nous avons décidé de nous concentrer au cours de notre étude.

Cette thèse, inscrite dans le projet européen COMET (7ième PCRD Euratom), porte sur les modifications épigénétiques induites chez le poisson zèbre par une exposition chronique à des radionucléides.

Des poissons mâles et femelles ont été exposés à 2 et 20 $\mu\text{g.L}^{-1}$ d'uranium appauvri durant 24 jours. Après 7 et 24 jours d'exposition, le cerveau, les gonades et les yeux ont été prélevés afin d'y étudier les modifications de méthylation de l'ADN. En complément, la génotoxicité a été mesurée par le test γH2AX .

Dans un premier temps, les modifications globales de la méthylation de l'ADN sont étudiées par le biais de l'AFLP-MS et de l'HPLC-MS. Les données recueillies nous permettront de savoir si l'exposition à l'uranium appauvri modifie le statut global de méthylation de l'ADN. Cette étude sera affinée par l'analyse de la méthylation de régions spécifiques du génome codant pour des gènes impliqués dans des fonctions physiologiques majeures. Ainsi, nous pourrons identifier des gènes cibles subissant des modifications épigénétiques, et relier ce constat à une possible altération des fonctions physiologiques encodées.

Suite à cette première expérience, nous disposerons de plus d'informations sur l'impact épigénétique et les cibles de ces modifications suite à une exposition à l'uranium. Une exposition des organismes à une irradiation gamma externe sera ensuite effectuée, afin de comparer le statut de méthylation des gènes cibles.

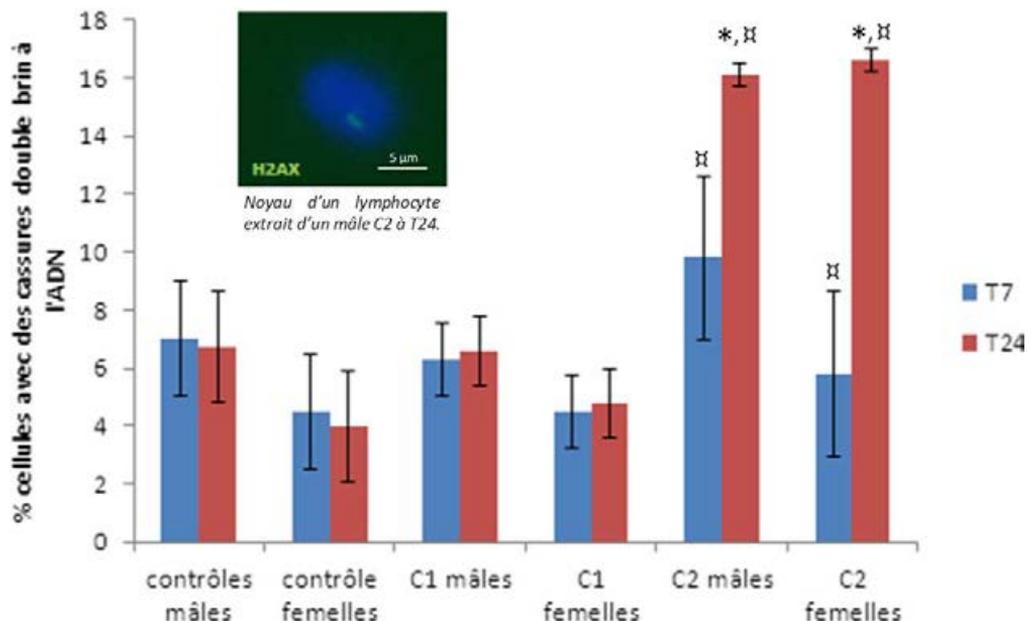


Figure 1. Dommages génotoxiques (cassures double brin) dans des lymphocytes extraits de la rate (n=5). * Différence significative relativement aux témoins ($p < 0,05$). α Différence statistique entre les deux temps d'une même condition.

Sujet de la thèse :

Analyse rapide de radioéléments en situation post-accidentelle. Radiochimie automatisée et couplage avec la mesure.

Doctorant : Azza HABIBI-ZATER
Date du début de la thèse : 03/12/2012
Laboratoire : PRP-ENV/STEME/LMRE
Financement de thèse : TAF
Directeur de thèse : Gérard Cote - ENSCP ominic Larivière - Université Laval, QC, Canada
Tuteur de thèse : Béatrice Boulet
École doctorale : UPMC/École doctorale de Chimie Physique et de Chimie Analytique de Paris Centre (ED 388)

La présente thèse s'inscrit dans le contexte post-Fukushima qui a conduit à la mise en place de nouvelles stratégies au sein de l'IRSN pour la préparation à la gestion de crise.

Dans un cadre plus général, les accidents nucléaires survenus ces dernières années ont mis en évidence la difficulté de réaliser avec un délai court l'identification et la quantification des émetteurs alpha et bêta. En effet, les protocoles actuellement utilisés pour la surveillance de l'environnement sont très performants pour atteindre des limites de détection très basses, mais leur mise en œuvre est laborieuse avec des temps d'analyse pouvant nécessiter plusieurs semaines pour certains radio-isotopes. Par suite, il est nécessaire de développer des méthodes d'analyse rapides pour tout type de matrices environnementales.

La première étape de l'étude a permis de dresser la liste des émetteurs alpha et bêta susceptibles d'être rejetés dans l'environnement en période de crise. Dans une seconde phase, des protocoles d'analyse rapides sont développés pour les 20 radio-isotopes de U, Th, Pu, Am, Cm, Np, Sr et Cs retenus. L'objectif est d'automatiser l'étape de séparation radiochimique et de la coupler avec la mesure. La séparation est réalisée sur des colonnes chromatographiques et la mesure essentiellement par ICP-MS (spectrométrie de masse à plasma induit). Le couplage de ces deux techniques impose plusieurs contraintes telles que la compatibilité des milieux d'analyse avec la mesure. Les premiers résultats obtenus avec des matrices synthétiques hors couplage ont permis de définir un protocole de séparation mettant en œuvre diverses colonnes chromatographiques et d'avoir une meilleure connaissance des propriétés physico-chimiques des éléments dans les conditions de l'analyse. D'excellentes performances en termes de rendements et de reproductibilité de séparation ont d'ores et déjà été obtenues. Les rendements sont $\geq 90\%$ pour tous les éléments sauf pour le Cs dont les propriétés chimiques imposent une étude à part. Les écarts types obtenus après de nombreux réplicas indépendants sont $\leq 10\%$. Enfin, ce protocole dure moins d'une journée.

Sujet de la thèse :

Impact de la contamination pluri-métallique à tendance uranifère sur le milieu aquatique et conséquences sur les réponses immunitaires et adaptatives des poissons.

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

Les activités anthropiques ont conduit à augmenter dans les écosystèmes aquatiques les teneurs environnementales de différents polluants dont les métaux. Parmi ces derniers, l'uranium a vu son extraction et son utilisation décupler rapidement du fait de son rôle dans le cycle du combustible nucléaire. Ces activités ont engendré de fortes concentrations en uranium dans l'environnement aquatique et donc un potentiel risque pour les organismes exposés, notamment les poissons. Les conséquences peuvent être observées au travers de réponses métaboliques et physiologiques, les biomarqueurs. Certains biomarqueurs revêtent un fort intérêt pour évaluer les effets d'une contamination métallique, entre autres les marqueurs d'immunotoxicité, de défenses anti-oxydantes et de génotoxicité.

La thèse a pour objectifs :

- i) d'étudier les effets d'une contamination multi-métallique sur l'épinoche (*Gasterosteus aculeatus*)
- ii) d'observer les capacités d'adaptation des poissons suite à une combinaison de stress.

Afin de répondre au premier objectif, six plans d'eau situés dans deux sites (Cantal et Haute-Vienne) ont été choisis en fonction de leur proximité avec d'anciennes mines d'extraction d'uranium et de leur niveau de contamination métallique, liée aux traitements chimiques associés à l'extraction. 240 épinoches ont été encagées pendant 28 jours sur les six sites sélectionnés. Une batterie de biomarqueurs a été mesurée sur les poissons échantillonnés 14 et 28 jours après encagement. Les résultats pour la Haute-Vienne montrent que les poissons encagés dans l'étang ayant la plus forte concentration en uranium (20 µg/L) présentent le plus de dommages à l'ADN après 14 jours d'encagement. La phagocytose leucocytaire (marqueur d'immunotoxicité) des poissons encagés dans cet étang est plus faible à 14 jours et plus forte à 28 jours en comparaison aux autres étangs sans uranium. La contamination pluri-métallique affecte négativement d'autres paramètres tels que l'indice de condition, l'activité oxydative et la distribution des leucocytes.

Dans le but d'étudier la réponse des poissons à un stress combiné (chimique + biologique) (objectif ii), une deuxième manipulation est envisagée pendant la deuxième année de thèse. Cette expérience consistera en une injection de lipopolysaccharides pendant l'encagement des poissons afin de stimuler la réponse immunitaire et d'évaluer le rôle d'une contamination multi-métallique en termes de mortalité et d'état physiologique.

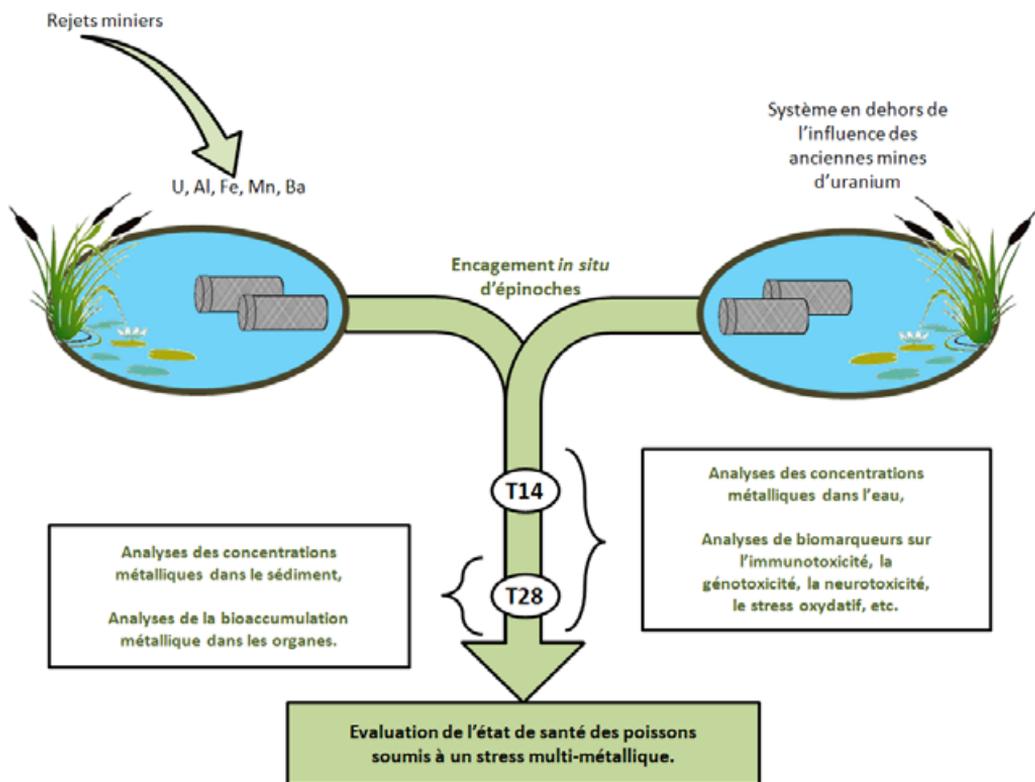


Figure 1 : Schéma simplifié du protocole de la première expérience in situ.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :

Marie LEGRAND

Date du début de la thèse :

03/10/2012

Laboratoire :

PRP-HOM/SRBE/LRTOX

Financement de thèse :

TAF

Directeur de thèse :

Per Eriksson - Uppsala University

Tuteur de thèse :

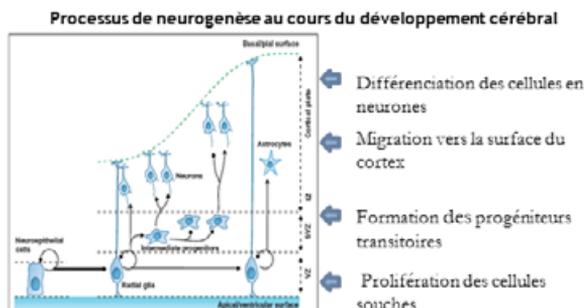
Céline Dinocourt

École doctorale :

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

L'uranium (U) a de nombreuses utilisations dans le cycle électronucléaire ou à des fins militaires qui soulèvent des questions concernant les risques pour la santé humaine. Plusieurs études démontrent des effets de l'U sur les fonctions cognitives. L'objectif de cette thèse est d'étudier l'implication de la neurogenèse en tant que mécanisme d'action pouvant expliquer ces perturbations cognitives.

La neurogenèse sera étudiée chez des animaux contaminés à l'uranium appauvri (UA, 40 et 120mg/L) dès le stade *in utero* pendant le développement cérébral, au cours duquel elle permet la formation du système nerveux et à l'âge adulte, pendant lequel la neurogenèse est à la base des capacités de plasticité du SNC. Cette première partie nous permettra d'orienter des études mécanistiques des effets de l'U sur la neurogenèse à l'aide de modèles *in vitro* et *ex vivo*.



Dans un premier temps, nous avons étudié aux stades embryonnaires E13 et E18 et au stade post-natal P21: 1) la morphologie structurale du SNC par coloration au crésyl violet ; 2) la prolifération cellulaire dans les zones neurogéniques par le marquage BrdU et 3) la mort cellulaire par les techniques TUNEL et Fluorojade.

Les résultats montrent que l'UA n'induirait pas de troubles majeurs d'organogenèse du cerveau. En revanche, le marquage BrdU suggère une modification dans le processus de prolifération cellulaire dans le télencéphale et dans l'hippocampe, aux stades embryonnaire et post-natal. Cependant, aucune différence dans le processus de mort cellulaire n'est observée entre les animaux contaminés et le groupe témoin.

En conclusion, ces résultats suggèrent fortement qu'une contamination chronique à l'UA induirait des modifications dans la prolifération des cellules neuronales dans le télencéphale et l'hippocampe au cours du développement cérébral. Pour compléter ces résultats, d'autres stades de développement (P0 et P5) seront étudiés ainsi que le processus de différenciation cellulaire par différents marqueurs spécifiques.

Sujet de la thèse :

Développement d'une chambre à projection temporelle utilisant une anode pixélisée pour les références en énergie et en fluence de champs neutroniques de basses énergies (quelques keV à 1 MeV).

Doctorant :	Donovan MAIRE
Date du début de la thèse :	31/10/2012
Laboratoire :	PRP-HOM/SDE/LMDN
Financement de thèse :	IRSN/LNE
Directeur de thèse :	Daniel Santos - CNRS/LPSC
Tuteur de thèse :	Lena Lebreton
École doctorale :	École doctorale de physique - Grenoble

Dans le domaine des rayonnements ionisants, les installations produisant des champs neutroniques sont essentielles pour étalonner et étudier des détecteurs de neutrons. Cependant ces champs neutroniques doivent être caractérisés en énergie et en fluence pour être considérés comme des champs de référence. Pour mesurer directement la distribution en énergie de champs neutroniques dont l'énergie est inférieure à 1 MeV, un détecteur gazeux (μ -TPC pour micro Time Projection Chamber) est en cours de développement au Laboratoire de Métrologie et de Dosimétrie des Neutrons (LMDN). Ce projet se déroule en collaboration avec l'équipe MIMAC du Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie (LPSC/UJF/CNRS-IN2P3/INP) qui a développé ce détecteur, initialement pour la détection directionnelle de matière noire. En effet l'interaction de ces particules avec la matière induit des reculs nucléaires, comme pour les neutrons. Ainsi le même principe de détection peut être utilisé pour détecter des neutrons. L'IRSN est également associé au Laboratoire National de métrologie et d'Essais (LNE), détenant les grandeurs neutroniques de référence dont la distribution en énergie de la fluence neutronique.

L'objectif de ce projet est de développer et d'optimiser un détecteur capable de mesurer la distribution en énergie de la fluence neutronique entre 8 keV et 1 MeV. Pour cela il faut :

- maîtriser le fonctionnement du dispositif,
- développer un algorithme d'analyse des données,
- réaliser des simulations pour estimer la réponse du système,
- réaliser des campagnes de mesures sur des installations capables de produire des champs neutroniques,
- maîtriser les incertitudes associées à chaque paramètre,
- obtenir un fonctionnement en routine à la fin de la thèse.

Lors de cette première année, plusieurs objectifs ont déjà été remplis :

- Un algorithme d'analyse et une modélisation du dispositif ont été développés avec Philippe Querre (IRSN/PSN-RES/SA2I/LIE),
- deux campagnes de mesure ont été réalisées sur l'installation AMANDE du LMDN ainsi que des reconstructions de l'énergie neutron à 127 keV et 144 keV,
- une source d'ions a été développée au LPSC et mise en fonctionnement au LMDN. Elle est nécessaire à la mesure de l'énergie,
- une nouvelle enceinte est en cours de réalisation, après une étude préliminaire avec Jean Desquines (IRSN/PSN-RES/SEREX/LE2M),
- la caractérisation des incertitudes est en cours avec Philippe Querre, Eric Chojnaki (IRSN/PSN-RES/SEMIA/LIMAR) et Nicolas Fischer (LNE).

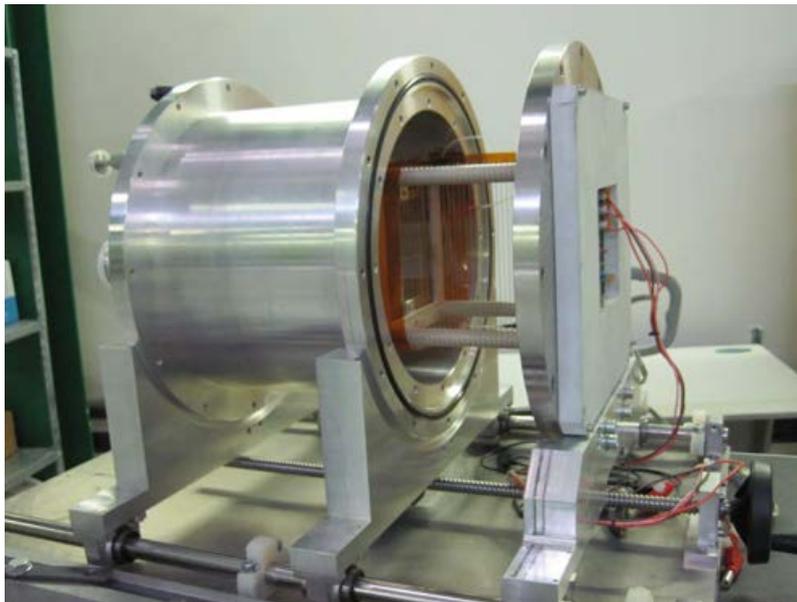


Figure 1. Premier prototype du détecteur μ -TPC (position ouverte)

Sujet de la thèse :

Etudes des changements phénotypiques des cellules endothéliales irradiées : implication de la transition endothélium mésenchyme dans le développement des complications des radiothérapies.

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

La radiothérapie est un outil indispensable dans la stratégie thérapeutique anti-cancéreuse. Cependant, l'exposition de la cavité abdomino-pelvienne aux rayonnements ionisants peut induire l'apparition de symptômes secondaires favorisant le développement de maladies intestinales chroniques telles que la fibrose. La fibrose tissulaire est caractérisée par l'accumulation excessive de matrice extracellulaire synthétisée par les cellules mésenchymateuses. La transition endothélium-mésenchyme (EndoMT), est un processus au cours duquel les cellules endothéliales expriment des protéines spécifiques des cellules mésenchymateuses en réponse au stress. L'EndoMT a récemment été identifiée comme une source potentielle de cellules mésenchymateuses participant à la fibrose chez des patients atteints de maladies inflammatoires intestinales et dans un modèle préclinique d'inflammation digestive. Le but de cette étude est de déterminer le rôle de l'EndoMT dans le développement de la fibrose intestinale radio-induite.

In vitro, les mécanismes cellulaires et moléculaires mis en jeu durant l'EndoMT sont étudiés chez des cellules endothéliales (HUVECs), après irradiation (0, 2, 10 et 20 Gy). Des analyses géniques et protéiques sont effectuées 7 jours après irradiation afin de suivre les modifications phénotypiques des cellules endothéliales irradiées. In vivo, des souris transgéniques exprimant la GFP (Green Fluorescent Protein) spécifiquement dans l'endothélium sont irradiées au niveau du rectum à une dose unique de 27Gy (souris Tie2-GFP).

Les résultats obtenus montrent que l'irradiation des HUVECs induit l'EndoMT avec une augmentation de l'expression protéique et génique de marqueurs mésenchymateux (α -Smooth muscle actin (α -SMA) et Smooth muscle 22-alpha (SM22 α)) 7 jours après irradiation à une dose de 10Gy. Un profil d'expression génique a été établi sur environ 40 gènes et les futurs travaux vont consister à étudier les mécanismes impliqués, notamment l'implication de la voie Notch et du facteur de transcription Hey2. Une première étude par co-marquage endothélium/mésenchyme a montré l'existence du processus d'EndoMT radio-induit sur des tissus irradiés de patients traités pour des adénocarcinomes du rectum. L'analyse des lésions par co-marquage mésenchyme/GFP chez les souris Tie2-GFP irradiées sont en cours afin de déterminer la participation de l'EndoMT dans le développement des lésions radiques digestives. Le rôle des voies moléculaires mises en évidence in vitro seront explorées in vivo via différents types de souris transgéniques.

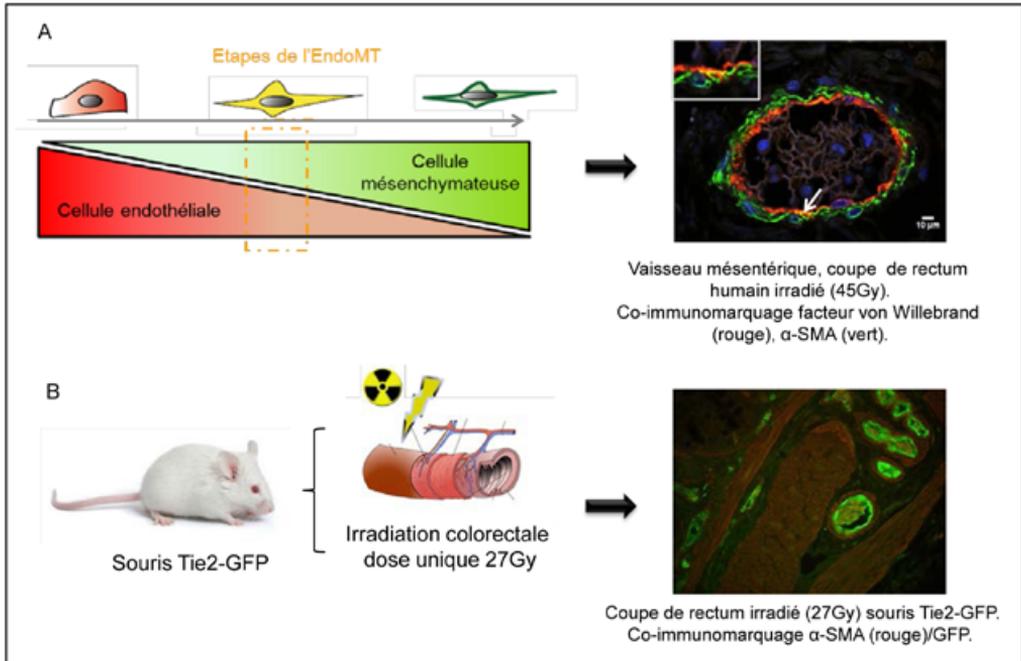


Figure A: Mise en évidence le l'EndoMT chez l'Homme après traitement par radiothérapie. Co-expression de l' α -SMA et du facteur von Willebrand (flèche, jaune) dans un vaisseau méésentérique observé sur coupe de rectum humain irradié.

Figure B: Mise au point du co-immunomarquage en fluorescence α -SMA/GFP dans un modèle d'irradiation colorectale chez la souris Tie2-GFP.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :

Stefania MUSILLI

Date du début de la thèse :

01/10/2012

Laboratoire :

PRP-HOM/SRBE/LRTOX

Financement de thèse :

TAF

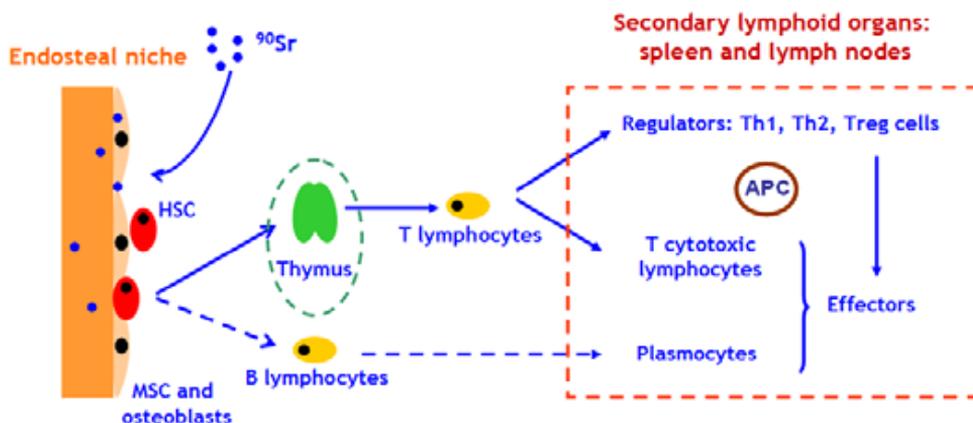
Directeur de thèse : Jean-Marc Bertho-IRSN et Saadia Kerdine-Römer-Université Paris Sud

Tuteur de thèse :

Paris 11/ ED425 Innovation Thérapeutique

École doctorale :

Lors des situations accidentelles (Tchernobyl en 1986 ou plus récemment Fukushima en 2011) deux des radionucléides majoritairement rejetés sont le ^{137}Cs et le ^{90}Sr . La contamination à long terme des populations vivant sur les territoires contaminés se fait essentiellement par ingestion chronique de ces deux éléments. En effet, leur longue demi-vie fait qu'ils sont des éléments persistants dans l'environnement et aujourd'hui encore, les populations de ces territoires ingèrent quotidiennement de faibles quantités de ces radioéléments. Cependant, les effets sanitaires de cette ingestion sont encore mal connus. Les études antérieures du laboratoire ont montré que le ^{90}Sr s'accumule préférentiellement dans l'os et qu'il a un effet sur le système immunitaire et sur la physiologie osseuse. L'objectif de cette thèse est donc d'étudier les mécanismes d'action du ^{90}Sr dans l'os afin de comprendre les modifications fonctionnelles précédemment observées. L'hypothèse envisagée est que le rayonnement β -émis lors de la désintégration du ^{90}Sr agirait sur les cellules à proximité du tissu osseux: les cellules souches hématopoïétiques (HSC) et/ou mésenchymateuses(MSC). Pour vérifier cette hypothèse, 2 modèles sont utilisés.



Le premier est un modèle *in vivo* de dose-réponse avec des concentrations de ^{90}Sr de 4, 20 et 100 KBq/l avec un suivi des animaux de 24 semaines. Cette étude, actuellement en cours, va nous permettre de définir l'amplitude et la spécificité des effets du ^{90}Sr sur le système immunitaire, mais également de déterminer le seuil pour lequel aucun effet indésirable n'est observé (NOAEL).

Le deuxième est un modèle *in vitro*, dans lequel deux lignées cellulaires MS5 et FBMD-1 (cellules stromales murines) sont contaminées ou non par différentes concentrations de ^{90}Sr . Dans un premier temps, la capacité prolifératrice de ces cellules suite à une contamination de ^{90}Sr est évaluée. Les premiers résultats indiquent que dans certaines conditions de culture, la capacité de prolifération des cellules MS5 serait diminuée. Dans un deuxième temps, une analyse plus fine des effets du ^{90}Sr sur différents mécanismes cellulaires (dommages à l'ADN et mécanismes de réparation, induction du stress oxydant, sénescence...) sera effectuée.

Sujet de la thèse :

Étude mécaniste de la toxicité des radiations ionisantes chez *Daphnia magna*.

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

De nos jours, la présence de rayonnements ionisants dans l'environnement suscite un intérêt scientifique croissant pour la protection des écosystèmes. Cependant, l'évaluation de leurs potentiels effets sur l'environnement se heurte à l'insuffisance de données scientifiques disponibles et à un manque de méthodes éprouvées. Comprendre comment ces substances impactent les écosystèmes à des échelles biologiquement et écologiquement plus pertinentes est un enjeu majeur dans la protection environnementale. Cette problématique est l'un des objectifs du réseau européen STAR (STrategy for Allied Radioecology) dans lequel cette thèse est inscrite. Dans ce contexte, ce projet de thèse vise à caractériser les effets d'une irradiation gamma externe au Cs 137 sur un microcrustacé représentatif des écosystèmes aquatiques, *Daphnia magna*. Plus particulièrement, l'objectif est d'évaluer les effets multigénérationnels d'une irradiation externe à faibles doses sur : (i) les dommages à l'ADN et leurs potentielles conséquences sur les traits d'histoire de vie (survie, croissance, reproduction), (ii) le budget énergétique et (iii) la dynamique de population de la Daphnie.

La création d'un design expérimental adapté nous a permis d'exposer les organismes à de faibles doses d'irradiation allant de 0,008 à 32 mGy/h (Figure 1) au cours de 3 générations successives (75 jours). Les effets génotoxiques ont été estimés à l'aide d'une technique d'amplification aléatoire de l'ADN polymorphe (RAPD-PCR).

Ce type d'exposition nous permet de mettre en évidence une corrélation entre de potentielles perturbations tant à l'échelle moléculaire (altérations de l'ADN) qu'à l'échelle individuelle (survie, croissance et reproduction) au fil des générations. Ces résultats permettront à terme, d'identifier des signaux d'alerte précoce et de mettre en évidence le rôle des altérations de l'ADN dans les effets transgénérationnels.

Par la suite, l'intégration des données individuelles et moléculaires dans un modèle de budget énergétique de type DEBtox (Dynamic Energy Budget applied to Toxicology) - décrivant la manière dont l'organisme alloue son énergie aux différentes fonctions vitales (croissance, reproduction, réparation des dommages etc.) en présence d'un contaminant - identifiera le ou les modes d'actions des radiations ionisantes sur *Daphnia magna*. Combiné au modèle DEBtox, les modèles matriciels de type Leslie nous permettront d'extrapoler les effets individuels sur la croissance et la reproduction à la dynamique de population.

Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental

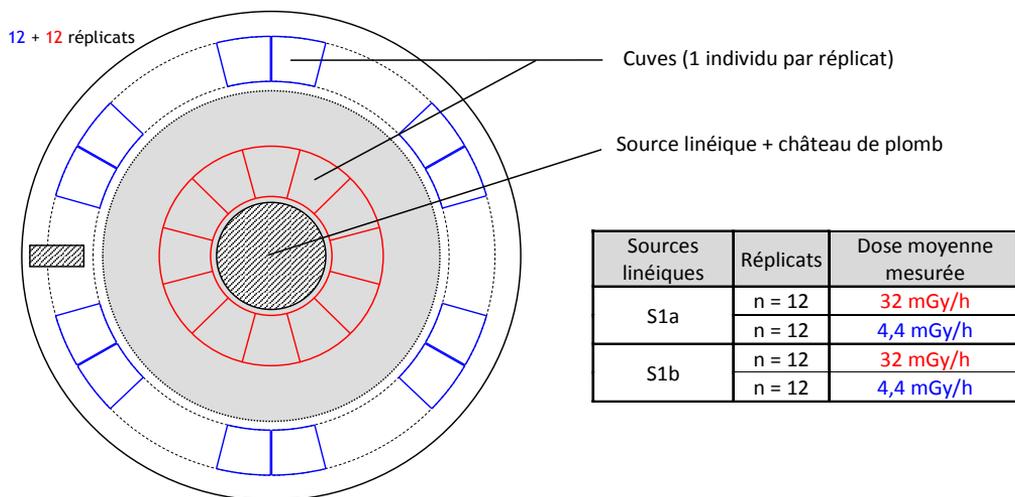


Schéma du dispositif pour les sources linéiques S1a et S1b

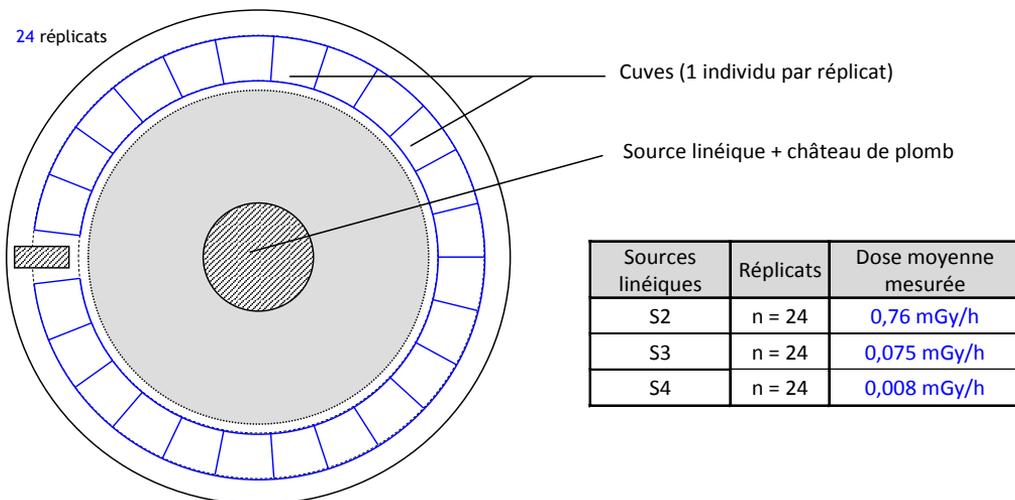


Schéma du dispositif pour les sources linéiques S2, S3 et S4.

Sujet de la thèse :

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

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

En situation d'accident nucléaire (Tchernobyl 1986 ; Fukushima 2011) les acteurs de la gestion de risque sont confrontés à un ensemble d'incertitudes dues par exemple au manque de données et/ou à une compréhension imprécise des phénomènes et processus en action. Il est alors important pour les décideurs de prendre conscience (hors période de crise) de l'existence, de la nature et des principales causes de ces incertitudes. Dans le cas spécifique de l'évaluation de l'exposition des populations humaines par voie alimentaire, les incertitudes portent sur le transfert des radionucléides dans l'environnement et vers l'homme. L'objectif de la thèse est de recenser, quantifier (ou à défaut qualifier) et hiérarchiser toutes les incertitudes liées au calcul d'exposition alimentaire des populations humaines en phase post-accidentelle.

Une première étape de la thèse a consisté à construire la réflexion méthodologique autour de denrées ayant directement intercepté le panache telles que les légumes-feuilles (salades, épinards etc.) ; produits dont la consommation est connue pour représenter une contribution significative à la dose par ingestion reçue durant la période de transition post-accidentelle (Simpkins 2005 ; Tschiersch et al, 2009). Ainsi des méthodes, bien connues dans la littérature, telles que l'inférence bayésienne (pour la quantification des incertitudes) et la simulation de Monte Carlo (1D pour la prise en compte des incertitudes, et 2D pour la prise en compte des incertitudes et variabilité) ont jusque-là été utilisées et appliquées au processus d'interception des radionucléides par le système foliaire des légumes-feuilles. A titre illustratif, les premiers résultats des simulations ont ensuite été superposés à des mesures de la concentration en césium réalisées par les autorités Japonaises dans la préfecture de Fukushima courant mars 2011 (cf. Figure 1).

Une seconde étape visera à élargir la méthodologie à un plus grand nombre de radionucléides et un plus grand nombre de denrées agricoles ou forestières, animales ou végétales.

Ces applications permettront entre autres d'enrichir la base de données probabiliste de la plateforme Symbiose développée par l'IRSN et dédiée à la simulation des transferts de radionucléides dans les écosystèmes.

Activité en Cs134 mesurée et estimée au 16-03-2011. Préfecture de Fukushima

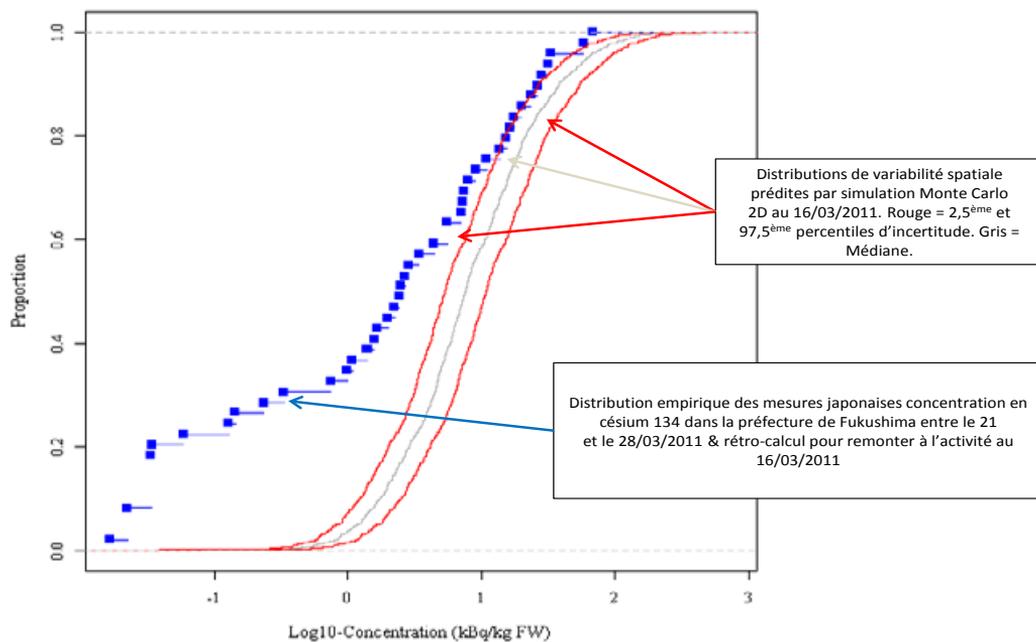


Figure 1: Distributions de probabilités cumulatives des activités en Cs134 dans les légumes-feuilles de la préfecture de Fukushima. Estimations au 16/03/2011.

Sujet de la thèse :

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

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

Les cassures double-brin de l'ADN (CDB) sont des événements-clés de la réponse aux radiations ionisantes qui, avec le profil génétique et épigénétique individuel, peuvent conditionner le devenir des tissus sains d'un individu exposé. Un ensemble de modifications épigénétiques transitoires interviennent dans le processus de signalisation des CDB et ont tout d'abord été décrites comme permettant de les rendre accessible à la machinerie cellulaire de réparation (Escargueil *et al.*, 2008). Un certain nombre d'études récentes démontrent qu'elles participent également aux processus moléculaires intervenant dans le devenir de la cellule. Afin d'étudier cette gestion moléculaire des CDB au sein d'une population cellulaire, nous nous sommes axés sur trois modifications d'histones : la phosphorylation de la Ser139 de l'histone H2AX connue comme signalisant la CDB (Rogakou *et al.*, 1998), la phosphorylation de la Tyr142 de l'histone H2AX décrite comme jouant un rôle de bascule moléculaire entre la réparation de la CDB et l'entrée en mort cellulaire (Cook *et al.*, 2009) et l'acétylation de la Lys16 de l'histone H4 qui serait impliquée dans l'entrée en sénescence cellulaire (Contrefois *et al.*, 2012).

Des marquages en immunofluorescence spécifiques de ces modifications d'histones ont été réalisés à différent temps après l'irradiation (de 0 à 168 heures) de tapis de cellules primaires humaines, avec une source de césium 137 ou de rayons X (4MV). Les analyses des dommages générés sont menées par une approche de microscopie et d'analyse d'image en masse permettant l'identification topologique, qualitative et quantitative des variations de fluorescence au sein de chaque noyau. Cette méthodologie a déjà permis d'acquérir sur douze temps post-irradiation et deux doses (2 et 5 Gy) près de 120000 images rendant possible l'analyse des CDB dans 5000 à 10000 noyaux cellulaires par condition. Une vingtaine de paramètres tels que la taille, la localisation, la fluorescence sont mesurés pour chacune des trois modifications d'histones étudiées. L'analyse approfondie de ces données ouvrira l'accès à une vision inédite de la gestion moléculaire des CDB à l'échelle de chaque cellule d'une population cellulaire exposée. Elle permettra ainsi d'étudier plus largement la diversité de réponse au sein de cette population, ainsi que les interactions possibles entre les différents sous-ensembles de réponses observées.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Sergey ZHIVIN
Date du début de la thèse :	04/10/2012
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LEPID
Financement de thèse :	Région Ile-de-France
Directeur de thèse :	Dominique LAURIER - IRSN
Tuteur de thèse :	Dominique LAURIER
École doctorale :	Paris XI - Epidémiologie, Sciences Sociales et Santé Publique - ED420

Objectifs Les effets à long terme sur la santé d'une exposition à l'uranium sont encore débattus bien que des données récentes suggèrent une association entre le cancer et les maladies cardiovasculaires et les caractéristiques physico-chimique de l'uranium. Nous avons effectué une revue critique des études épidémiologiques réalisant un suivi de populations civiles et militaires exposées à différents types des composés uranifères.

Méthodes Les bases de données PubMed et Scopus ont été utilisées pour identifier les études chez les travailleurs militaires déployés dans les guerres de Golfe et de Balkans, publiées en 1991-2013, et pour mettre à jour les résultats de suivi de travailleurs civils employés dans les installations du cycle du combustible nucléaire, pour la période 2007-2013.

Résultats Vingt-cinq des 43 études sélectionnées ont été examinées. La plupart des études (n=21) n'avaient pas précisément décrit le type d'uranium et avaient utilisé les substituts d'exposition à l'uranium pour analyser les relations dose-effet. Les populations militaires étaient soumises à une exposition aiguë ou chronique, de niveau modéré, à l'uranium appauvri soluble ou insoluble. Les travailleurs civils étaient soumis à une exposition chronique de niveau faible aux différents types d'uranium, en fonction des activités réalisées dans le cycle du combustible. Une néphrotoxicité a été observé chez les travailleurs militaires (n=3) et, dans une moindre mesure, chez les travailleurs de préparation du yellow-cake (« millers ») qui étaient exposés à l'uranium naturel (n=1). Une surmortalité par cancer du poumon (n=2) non-significative était également observée chez les « millers », ainsi qu'un excès significatif de tumeurs des tissus lymphatiques et hématopoïétiques (n=2) chez les travailleurs exposés à l'uranium enrichi soluble. L'uranium de retraitement insoluble pourrait être associé à une augmentation du risque de cancer du poumon (n=2), de cancer des tissus lymphatiques et hématopoïétiques (n=1) et des maladies cardiovasculaires (n=1).

Conclusion Les caractéristiques physico-chimiques de l'uranium sont rarement prises en compte dans les études épidémiologiques et les résultats disponibles ne sont pas concluants quant à leur association avec des effets sanitaires.

Résumés des doctorants non présent

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

Sophie GRIVES, évaluation de l'efficacité *ex vivo* et *in vivo* de formes galéniques de calixarène pour le traitement de blessures superficielles contaminées par de l'uranium.

Arnaud BRUNNER, influence de la sous-oxygénation sur les paramètres de combustion en régime radiatif dominant.

Nawfal BLAL, modélisation micromécanique et identification inverse de l'endommagement par approches cohésives.

Benoit USUNIER, application à la biothérapie au traitement du tissu sain contre les effets tardifs de la radiothérapie; étude préclinique du traitement par les Cellules Souches contre le développement de la fibrose dans le tissu sain exposé aux irradiations fractionnées abdominaux-pelviennes chez le rat Sprague-Dawley.

Nicolas THEODORAKOPOULOS, analyse de la biodiversité bactérienne d'un sol contaminé de la zone d'exclusion de Tchernobyl et caractérisation de l'interaction engagée par une souche de *Microbacterium* avec l'uranium.

Sujet de la thèse :

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

Doctorant :	Morgane DOS SANTOS
Date du début de la thèse :	01/10/2010
Laboratoire :	PRP-HOM/SDE/LDRI
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Sébastien Incerti - CENBG
Tuteur de thèse :	Carmen Villagrasa
École doctorale :	Université Bordeaux 1 / ED Sciences physiques et de l'Ingénieur

L'étude du mécanisme de formation des dommages biologiques produits par les rayonnements ionisants (RI) demeure un sujet majeur dans le domaine de la recherche en radiobiologie. Les effets des RI sur la santé ne sont toujours pas entièrement prédictibles, du fait de la diversité des molécules impliquées et des différents mécanismes mis en jeu lors de la réponse biologique. Comprendre et prédire comment ces effets sont induits dans la matière et leurs impacts est tout l'enjeu de ce domaine de recherche.

Dans ce contexte, l'IRSN a initié le programme de recherche ROSIRIS qui vise à améliorer les connaissances des effets secondaires des rayonnements utilisés en radiothérapie et comprendre les mécanismes biologiques qui induisent ces risques pour mieux les prévenir. Mon travail de thèse s'inscrit dans ce projet dans la modélisation des cassures double brin de l'ADN (DSB) à partir des dépôts d'énergie créés par l'irradiation au niveau intracellulaire. Le détail topologique au niveau nanométrique des dépôts d'énergie nécessaire à ce travail est obtenu par modélisation Monte Carlo à l'aide du code Geant4 et, en particulier son extension Geant4-DNA pour des processus à très faible énergie.

L'ADN étant la cible des DSB, le premier objectif de ma thèse a été de réaliser une géométrie détaillée de celui-ci afin de l'implémenter dans les calculs Monte Carlo. Deux noyaux cellulaires, un fibroblaste et un endothélium, chacun divisé en cinq niveaux de compaction de l'ADN ont été décrits. Cette géométrie nous permet d'effectuer une première sélection des dépôts d'énergie pouvant contribuer aux cassures car situées sur la chaîne sucre-phosphate. Ces dépôts sont ensuite analysés avec un algorithme de clustérisation afin de les regrouper sous forme d'agrégats et d'étudier leur localisation et complexité.

Des irradiations avec des protons et des alphas de différentes énergies ont été modélisées au sein de ces géométries de manière à évaluer l'influence de différents paramètres comme la densité d'ADN, la qualité du rayonnement, la morphologie du noyau ou encore la condensation de la chromatine, sur le nombre et la complexité des dommages directs induits à l'ADN. Les résultats de ce travail ont été publiés et présentés à des congrès.

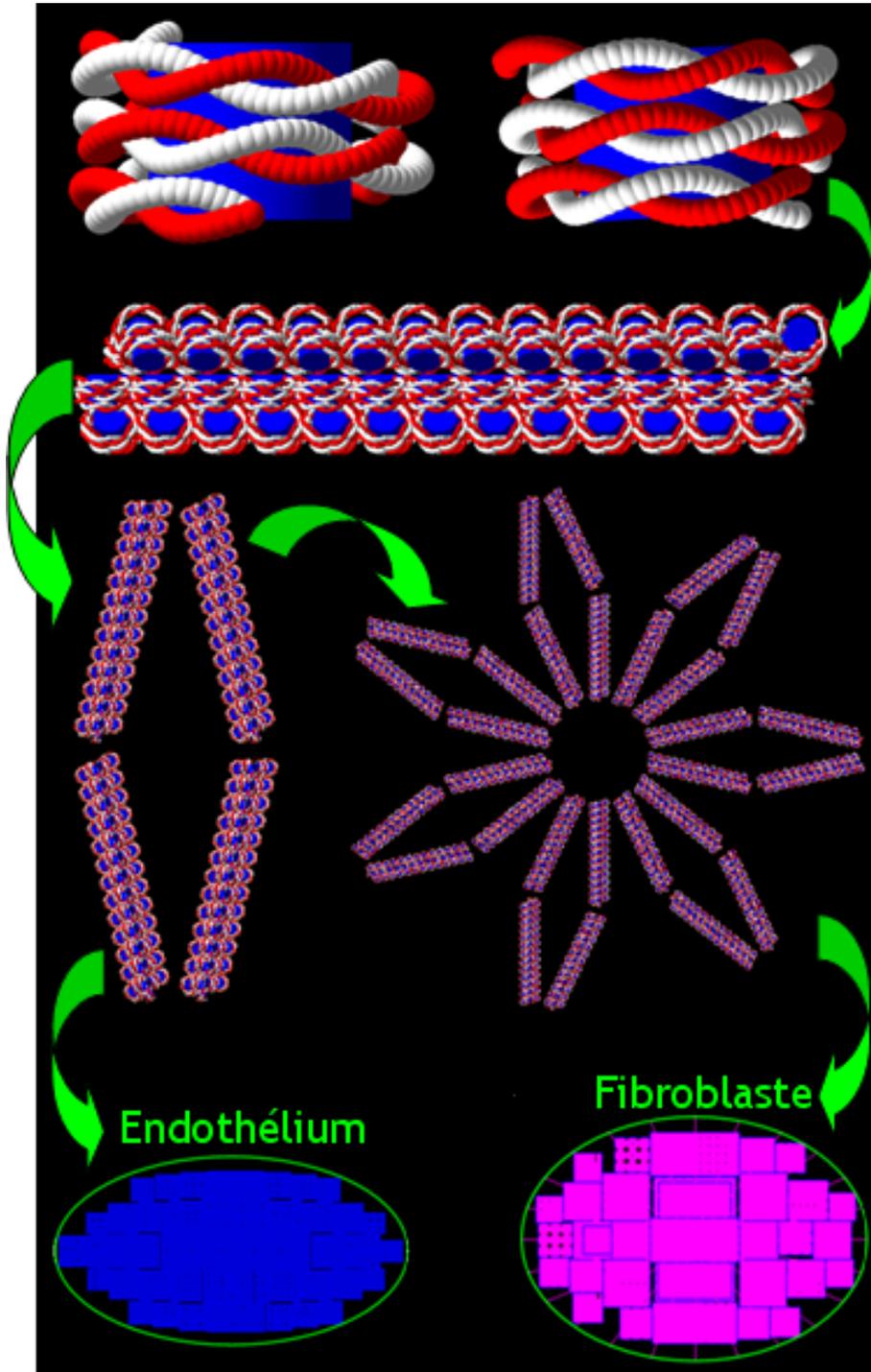


Figure : Les différents éléments qui composent la géométrie de notre cible (de haut en bas) : nucléosome, fibre de chromatine, boucle de chromatine (boucle simple et fleur) et noyaux cellulaires (endothélium et fibroblaste).

Sujet de la thèse :

Evaluation de l'efficacité *ex vivo* et *in vivo* de formes galéniques de calixarène pour le traitement de blessures superficielles contaminées par de l'uranium.

Doctorant :

Sophie GRIVES

Date du début de la thèse :

19/03/2012

Laboratoire :

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

Financement de thèse :

DGA/IRSN

Directeur de thèse :

Elias FATTAL - CNRS UMR 8612

Tuteur de thèse :

Guillaume PHAN

École doctorale :

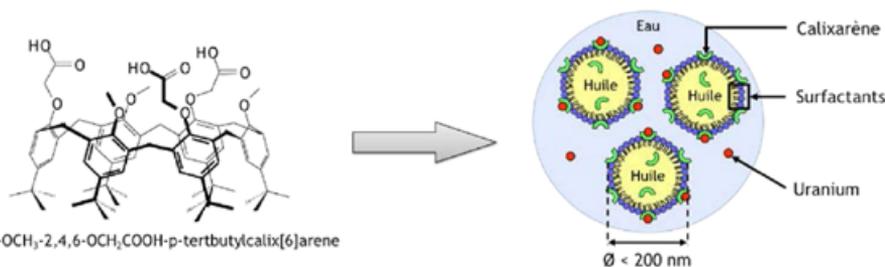
Paris-Sud 11/ED 425 Innovation thérapeutique, du fondamental à l'appliqué

Dans les situations de contamination radiologique cutanée par des composés d'uranium, le seul traitement existant consiste en un rinçage de la zone contaminée, par de l'eau et des détergents, ou par une solution de Ca-DTPA. De plus, ce mode de contamination peut survenir sur des zones difficiles à traiter telles que des plaies.

C'est dans ce contexte qu'un programme de recherche, en collaboration entre l'IRSN et l'UMR CNRS 8612, a été initié en 2006 dans le but de développer de nouvelles formes pharmaceutiques incorporant un agent chélatant, de la famille des calixarènes, afin de traiter spécifiquement les contaminations cutanées dues à des composés d'uranium. Les études actuelles visent à évaluer l'efficacité *ex vivo* et *in vivo* de ces formes galéniques consistant en une nano-émulsion H/E de calixarène fluide ou bien thermo-viscosante.

Des modèles de blessures superficielles, à la fois innovants et reproductibles, ont été développés et validés par un comité d'éthique pour être testés chez le rat. Les premières études sur cellules de diffusion transdermiques de Franz montrent que le passage des ions uranyle au travers d'une peau d'oreille de porc lésée par micro-coupures est 3 fois plus important qu'au travers d'une peau intacte. Si la peau est lésée par des micro-aiguilles, le passage est alors cinq fois plus important. L'efficacité de décontamination de nos formulations topiques sur ces modèles est actuellement à l'étude.

De plus, l'efficacité de décontamination de nos formulations est évaluée *in vivo*, sur des rats Sprague Dawley présentant des blessures superficielles contaminées par une solution de nitrate d'uranyle. En accord avec les résultats obtenus en *ex vivo*, la présence de blessures superficielles favorisent le passage transcutané des ions uranyles. Ce passage a une forte tendance à diminuer lors de l'application de nos formulations après contamination.



Molécule de la famille des calixarènes :
très bon chélatant de l'U

Nanoemulsion

Sujet de la thèse :

Influence de la sous-oxygénation sur les paramètres de combustion en régime radiatif dominant.

Doctorant :	Arnaud BRUNNER
Date du début de la thèse :	01/02/2012
Laboratoire :	PSN-RES/SA2I/LEF
Financement de thèse :	IRSN
Directeur de thèse :	Bernard PORTERIE - IUSTI (Université Aix-Marseille)
Tuteur de thèse :	Mickaël COUTIN et Laurence RIGOLLET
École doctorale :	École doctorale 353 (Université Aix-Marseille)

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



Le dispositif CADUCEE (Controlled Atmosphere Device for Unburnt and Carbon Emission Evolution) a été construit pour répondre aux besoins de cette étude. Il s'agit d'un calorimètre moyenne échelle permettant de maîtriser le niveau d'oxygène à proximité du feu. Une première campagne d'essais a permis de qualifier ce dispositif et a confirmé la dépendance du débit massique surfacique de combustion avec le niveau d'oxygène dans l'air ambiant. Ces essais ont également permis de mettre en évidence la forte corrélation entre le débit massique de combustion et les différentes conditions expérimentales que sont le débit d'injection du comburant, le débit d'extraction des produits de combustion, le taux d'oxygène à l'intérieur du dispositif, la nature du combustible ainsi que les conditions aux limites du bac et son diamètre. La seconde campagne d'essais a permis de qualifier la maîtrise du niveau d'oxygène à proximité de la flamme.

Enfin différents combustibles et diamètres de bac seront testés lors de la troisième série d'essais pour permettre de quantifier l'influence de la sous-oxygénation sur le développement du feu.

Sujet de la thèse :

Modélisation micromécanique et identification inverse de l'endommagement par approches cohésives.

Doctorant :	Nawfal BLAL
Date du début de la thèse :	01/10/2010
Laboratoire :	IRSN/PSN/SEMIA/LPTM (dans le cadre du laboratoire commun MIST)
Financement de thèse :	Contrat doctoral ministériel
Directeur de thèse :	Stéphane PAGANO, Directeur de Recherche, CNRS-Montpellier
Tuteur de thèse :	Yann MONERIE, Ingénieur-Chercheur, IRSN/PSN/SEMIA/LPTM
École doctorale :	Université Montpellier 2, Information, Structures, Systèmes (I2S)

Dans l'optique de mettre en place des outils numériques prédictifs pour la simulation de scénarii accidentels, il est nécessaire de modéliser les comportements adoucissants en tenant compte des mécanismes de fissuration et de rupture. Cette thèse vise à apporter quelques éléments de réponse concernant la modélisation et la simulation numérique de la rupture des milieux hétérogènes et changements d'échelles développées par le laboratoire MIST (CNRS, UM2, IRSN). Un modèle micromécanique d'endommagement, issu d'une discrétisation cohésive-volumique de type éléments finis, est développé. Le principe de la modélisation proposée consiste à remplacer le milieu discrétisé par un milieu continu (même comportement durcissant "volumique" que les éléments finis), et qui contient des inclusions "cohésives" (même comportement adoucissant que les modèles cohésifs). Le comportement global équivalent associé est recherché en s'appuyant sur des méthodes d'homogénéisation. L'étude est faite en trois étapes :

- i) Comportement élastique : une borne inférieure est obtenue à l'aide de l'estimation de Hashin et Shtrikman. Un critère rigoureux est établi pour la calibration des raideurs cohésives initiales dans l'optique de ne pas affecter l'élasticité globale de la structure étudiée.
- ii) Comportement de type fragile : le schéma d'homogénéisation linéaire est étendu au comportement fragile à l'aide de la méthode variationnelle de P. P. Castañeda. Ce résultat permet de relier explicitement les paramètres locaux (cohésifs) et globaux et aboutit à une calibration des autres paramètres cohésifs : contrainte maximale et énergie de rupture.
- iii) Comportement de type ductile : l'extension du modèle micromécanique au cas d'un milieu volumique plastique est ensuite proposée. Des relations explicites entre les paramètres locaux et le comportement global sont obtenues et l'effet du taux de triaxialité sur le comportement effectif ductile est exhibé.

L'analyse proposée est valide à tout taux de triaxialité et permet de dériver un comportement global (propriétés macroscopiques de rupture) indépendamment de la taille du maillage.

Sujet de la thèse :

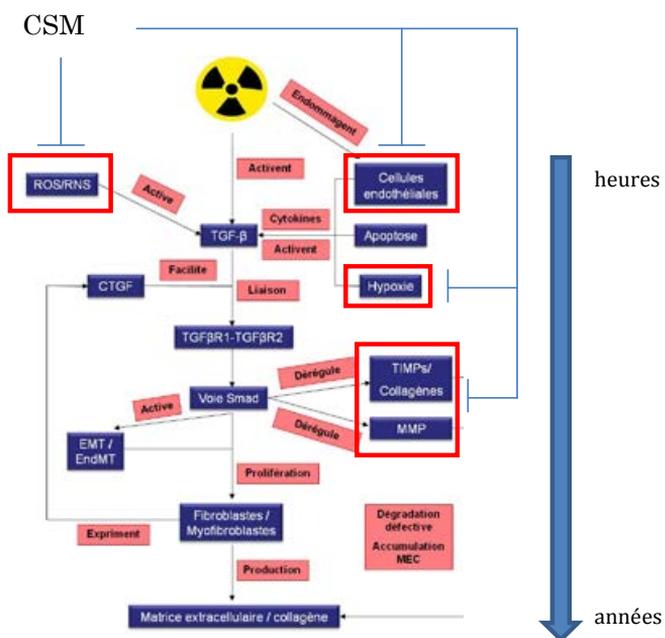
Application à la biothérapie au traitement du tissu sain contre les effets tardifs de la radiothérapie; étude préclinique du traitement par les Cellules Souches contre le développement de la fibrose dans le tissu sain exposé aux irradiations fractionnées abdominaux-pelviennes chez le rat Sprague-Dawley.

Doctorant :	Benoit USUNIER
Date du début de la thèse :	02/09/2013
Laboratoire :	PRP-HOM/SRBE/LRTE
Financement de thèse :	TAF
Directeur de thèse :	Marc Benderitter
Tuteur de thèse :	Alain Chapel
École doctorale :	UPMC/ ED 394 : Physiologie et physiopathologie

Ce travail de thèse s'inscrit dans le programme de thérapie cellulaire de l'IRSN sur l'utilisation des cellules souches dans le traitement des lésions radio-induites sévères. Les travaux menés par l'IRSN ont permis de démontrer l'efficacité thérapeutique d'une injection répétée de Cellules Souches Stromales (CSM) sur différents modèles expérimentaux (rongeur et mini-pig), l'absence d'effet secondaire du traitement, en particulier sur la cancérisation. Certains mécanismes d'action des CSM ont été mis en évidence, notamment le rôle des CSM dans la modulation de la réponse inflammatoire et sur la douleur.

Ce travail a pour objectif d'étudier l'effet des CSM sur la fibrose radio-induite caractéristique des effets tardifs de la radiothérapie. Notre objectif final est d'adapter, chez le rat, une stratégie thérapeutique de correction de la fibrose radio-induite par biothérapie. Le modèle développé par le laboratoire de stérilisation tumoral par irradiation fractionnée et le protocole de thérapie cellulaire post-radiothérapie sera utilisé, il est parfaitement caractérisé chez le rat. Dans ce modèle, la caractérisation histologique et moléculaire des atteintes des tissus sains compris dans le champs de l'irradiation sera finalisée pour le premier semestre 2013. Cette étape sera nécessaire pour étudier les mécanismes d'action des CSM sur le processus de fibrose radio-induite. Des expériences complémentaires in vitro notamment de co-culture des CSM avec des myo-fibroblastes seront nécessaires à cette étude mécanistique. L'effet des CSM sera étudié sur ce modèle de fibrose colique radio-induite, simulant assez bien les atteintes provoquées par une radiothérapie abdomino-pelvienne chez l'Homme. Suite à la caractérisation des effets des CSM, différentes conditions de traitement seront étudiées suivant deux axes : pré-stimulation des CSM par différents composés pharmacologiques et association de la thérapie cellulaire avec un traitement médicamenteux. Les étapes de culture et de prétraitement des CSM seront limitées afin de réduire les contraintes réglementaires inhérentes à l'application du protocole en clinique.

Les premiers succès cliniques de traitement par injection de CSM de patients souffrants de séquelles sévères de la radiothérapie (accident d'Epinal) auxquelles l'IRSN a activement participé ouvrent de nouvelles perspectives dans la prise en charge des complications des radiothérapies. Actuellement il n'existe pas de traitement permettant de limiter ces atteintes.



Relations entre les principaux acteurs moléculaires de la fibrose radio-induite et mécanismes proposés pour l'action des CSM

Sujet de la thèse :

Analyse de la biodiversité bactérienne d'un sol contaminé de la zone d'exclusion de Tchernobyl et caractérisation de l'interaction engagée par une souche de *Microbacterium* avec l'uranium.

Doctorant :	Nicolas THEODORAKOPOULOS
Date du début de la thèse :	04/10/2010
Laboratoire :	PRP-ENV/SERIS/L2BT
Financement de thèse :	IRSN/région PACA
Directeur de thèse :	Catherine Berthomieu - CEA
Tuteur de thèse :	Laureline Février
École doctorale :	Université Aix Marseille/Sciences de la vie et de la santé

Les accidents nucléaires des centrales de Tchernobyl et de Fukushima rendent primordial la compréhension des transferts de la contamination radioactive dans l'environnement et de ses conséquences écologiques.

Bien que certaines études aient été réalisées sur les organismes supérieurs, trop peu ont étudié les communautés bactériennes telluriques, qui jouent pourtant un rôle essentiel dans la mobilité des contaminants dans les sols en diminuant ou en améliorant leur transfert vers d'autres compartiments (eau, végétaux, animaux). Cependant, les radionucléides (RNs) peuvent avoir des effets toxiques sur les bactéries, entraînant une inhibition de leur rôle dans ce transfert.

Les objectifs de cette étude étaient

- (1) d'évaluer l'impact d'une contamination radioactive sur les communautés bactériennes d'un sol de la zone d'exclusion de Tchernobyl (sol de la tranchée n°22)
- (2) d'étudier les interactions uranium-bactérie pour une souche résistante, isolée à partir de ce sol.

Les différentes techniques utilisées pour caractériser la diversité bactérienne (culture de bactéries, DGGE, pyroséquençage) ont toutes témoigné de la richesse et de l'abondance des communautés bactériennes malgré la contamination. Un impact sur la structure des communautés, difficilement visualisable avec la DGGE et l'approche culturale, a néanmoins été mis en évidence par l'utilisation du pyroséquençage, suggérant la présence d'espèces plus adaptées aux conditions du sol contaminé. Cet environnement particulièrement irradiant pouvant constituer un habitat de choix pour les bactéries radiorésistantes, un outil moléculaire spécifique à la recherche de bactéries affiliées au phylum des *Deinococcus-Thermus* (ex : l'espèce *Deinococcus radiodurans* survit après une irradiation de plusieurs kGy) a été mis au point. Il n'a pas permis de révéler la présence de bactéries affiliées à ce phylum dans le sol contaminé. Parallèlement à l'étude de la biodiversité bactérienne, une cinquantaine de bactéries cultivables a été isolée à partir de ce site et ont servi de support à la sélection d'une souche capable de survivre à de fortes concentrations d'U(VI) (*Microbacterium*). La caractérisation des interactions entre cette bactérie et l'U(VI) a mis en évidence un mécanisme de détoxification actif qui met en jeu un efflux de l'U(VI) entré dans la cellule et une précipitation intracellulaire d'U(VI) sous la forme d'autunite.

Liste des participants et index des présentations

Christelle ADAM	IRSN/PRP-ENV	
Jocelyne AIGUEPERSE	IRSN/PRP-HOM	
Jonathan ALENGRY	IRSN/PSN-RES	71
Frederic ALONZO	IRSN/PRP-ENV	
Lhassan AMARSID	IRSN/PSN-RES	106
Jack ARAYRO	IRSN/PSN-RES	107
Jean BACCOU	IRSN/PSN-RES	
Sarah BAGHDADI	IRSN/PRP-HOM	45
Gauzelin BARBIER	IRSN/DSDP	
Marc BARRACHIN	IRSN/PSN-RES	
Nicolas BAUDIN	IRSN/PSN-RES	109
Mokrane BELHARET	IRSN/DEI/SESURE/LERCM	96
Ahmed BENTAIB	IRSN/PSN-RES	
Marie-Odile BERNIER	IRSN/PRP-HOM	
François BESNUS	IRSN/PRP/DGE	
Nawfal BLAL	IRSN/PSN	160
Aurélien BOISELET	IRSN/PRP/DGE	89
Jean-Marc BONZOM	IRSN/PRP-ENV	
Assia BOUAROURI	IRSN/PSN-RES	97
Damien BOUFFLERS	IRSN/PSN-RES	
Laurent BOUILLOUX	IRSN/PSN-RES	73
Denis BOULAUD	IRSN/PRP-ENV	
Thierry BOURGOIS	IRSN/DSDP	
Philippe BOURRACHOT	IRSN/CE	
Soleiman BOURROUS	IRSN/PSN-RES	56
Céline BOUVIER-CAPELY	IRSN/PRP-HOM	
Patricia BRUNET	IRSN/DRH	
Arnaud BRUNNER	IRSN/PSN-RES	159
Valérie BRUNO	IRSN/PRP-ENV	
Guillaume BUCHER	IRSN/PRP-ENV	79
Adeline BUISSET-GOUSSEN	IRSN/PRP-ENV	25
Léticia BUSLIG	IRSN/PSN-RES	64
José BUSTO	Université de la Méditerranée	41
Damien CAMPELLO	INSA de Lyon	
Jean-Michel CANALES	IRSN/DSDP	
Laurent CANTREL	IRSN/PSN-RES	
Sarah CARMINATI	IRSN/PSN-SRDS	110
Adrien CARTONNET	IRSN/PSN-RES	82
Sebastian CASTRILLON ESCOBAR	IRSN/PSN-RES	111
Alain CHAPEL	IRSN/PRP-HOM	
Sabine CHARMASSON	IRSN/PRP-ENV	
Nabiha CHAUMEIX	CNRS Orléans	
Camille CHAUTARD	IRSN/PRP/DGE	88
Adrien CHEMINET	IRSN/PRP-HOM	43
Clément CHEVALIER	IRSN/PSN-EXP	66
Karine CHEVALIER-JABET	IRSN/PSN-RES	
Nourdine CHIKHI	IRSN/PSN-RES	
Rémi CLAVIER	IRSN/PSN-RES	112

Olivia COINDREAU	IRSN/PSN-RES	
Loic COQUELIN	IRSN/PSN-RES	72
Frédéric COUSIN	IRSN/PSN-RES	
Mickaël COUTIN	IRSN/PSN-RES	
Jean COUTURIER	IRSN/DG	
Alicia CUVIER	IRSN/PRP-ENV	133
Camille DE LA TAILLE	IRSN/PRP/DGE	134
Alexandre DECRETON	IRSN/PSN-RES	113
Simon DELCOUR	IRSN/PSN-RES	74
Guillaume DEPUYDT	IRSN/PRP-ENV	94
Aurélie DESBREE	IRSN/PRP-HOM	
Alexandre DEVOS	IRSN/PRP-ENV	80
Céline DINOUCOURT	IRSN/PRP-HOM	
Morgane DOS SANTOS	IRSN/PRP-HOM	156
Damien DRUBAY	IRSN/PRP-HOM	37
Brigitte DUBOIS	IRSN/DSDP	
Céline DUFFA	IRSN/PRP-ENV	
Alice DUFRESNE	IRSN/PSN-RES	101
Christiane DUFRESNE	IRSN/PRP-ENV	95
Christelle DURAND	IRSN/PRP-HOM	61
Christian DURIEZ	IRSN/PSN-RES	
Teni EBRAHIMIAN GHESLAGH	IRSN/PRP-HOM	
Jean-Michel EVRARD	IRSN/PSN-RES	
Jérémy EYDIEUX	IRSN/PSN-SRDS	115
Ikram FATNASSI	IRSN/PRPDGE	136
Ghislain FERRAN	IRSN/PSN-EXP	68
Bruno FIEVET	IRSN/PRP-ENV	
Sandrine FRELON	IRSN/PRP-ENV	
Béatrice GAGNAIRE	IRSN/PRP-ENV	
Jacqueline GARNIER-LAPLACE	IRSN/PRP-ENV	
Laurent GASNOT	Université de Lille I	
Laura GASTALDO	IRSN/PSN-RES	
Thomas GELAIN	IRSN/PSN-RES	
Céline GELIS	IRSN/PRP/DGE	
Rodolphe GILBIN	IRSN/PRP-ENV	
Sabrina GINER	IRSN/PRP-ENV	
Frédéric GOLDSCHMIDT	IRSN/DSDP	
Kewin GOMBEAU	IRSN/PRP-ENV	138
Jules GOULIER	IRSN/PSN-RES	21
Benoît GOUSSEN	IRSN/PRP-ENV	27
Sophie GRIVES	CNRS	158
Yann GUEGUEN	IRSN/PRP-HOM	
Azza HABIBI-ZATER	IRSN/PRP-ENV	140
Georges HACHE	IRSN/DSDP	
Wim HAECK	IRSN/PSN-EXP	
Xavier HALLER	IRSN/PSN-RES	116
Adrien HILAIRE	IRSN/PSN-EXP	102
Christelle HUET	IRSN/PRP-HOM	
Hervé JOMARD	IRSN/PRP/DGE	
Neige JOURNY	IRSN/PRP-HOM	62

Ahmed KACEM	IRSN/PSN-RES	117
Martin KISSANE	IRSN/PSN-RES	
Jean-Claude LABORDE	IRSN/PSN-RES	
Patrick LALOI	IRSN/DSDP	
Marina LASSERRE	IRSN/PSN-RES	85
Jean-Claude LATCHE	IRSN/PSN-RES	
Thomas LE DEZ	IRSN/PSN-RES	118
Clelia LE GALLIC	IRSN/PRP-HOM	34
Antoine LE GUERNIC	IRSN/PRP-ENV	141
Léna LEBRETON	IRSN/PRP-HOM	
Marie LEGRAND	IRSN/PRP-HOM	143
Nathalie LEMAITRE	IRSN/DSDP	
Flavien LEMOINE	IRSN/PRP/DGE	
Florent LOUIS	Université de Lille I	
Hassan MAATOUK	Ecole des Mines de St Etienne	
Ahmed MABROUK	IRSN/PSN-RES	120
Tarik MADANI	IRSN/PSN-RES	121
Donovan MAIRE	IRSN/PRP-HOM	144
Zakaria MANA	IRSN/PSN-RES	55
Pierre MARCHAL	IRSN/PSN-RES	53
Adrien MARGERIT	IRSN/PRP-ENV	29
Denis MARO	IRSN/PRP-ENV	
François MARSAL	IRSN/PRP/DGE	
Olivier MASSON	IRSN/PRP-ENV	
Emmanuel MATHE	IRSN/PSN-RES	65
Fabien MILLIAT	IRSN/PRP-HOM	
Elodie MINTET	IRSN/PRP-HOM	146
Jean-paul MOATTI	Université de la Méditerranée	
Alexandra MOIGNIER	IRSN/PRP-HOM	17
Cyril MOIGNIER	IRSN/PRP-HOM	15
Yann MONERIE	Université de Montpellier	
Miguel MUNOZ ZUNIGA	IRSN/PSN-EXP	20
Stefania MUSILLI	IRSN/PRP-HOM	148
Georges NAHAS	IRSN/PSN-EXP	
Hugues PARADIS	IRSN/PRP-ENV	
Florian PARISOT	IRSN/PRP-ENV	149
Céline PELISSOU	IRSN/PSN-RES	
Frédéric PERALES	IRSN/PSN-RES	
Alice PETITGUILLAUME	IRSN/PRP-HOM	13
Denis PETITPREZ	Université de Lille I	
Delphine PLAIRE	IRSN/PRP-ENV	77
Clémentine POISSON	IRSN/PRP-HOM	38
Emmanuel PORCHERON	IRSN/PSN-RES	
Laurent POURCELOT	IRSN/PRP-ENV	
Hugues PRETREL	IRSN/PSN-RES	
Estelle RAGE	IRSN/PRP-HOM	
Emilie RANNOU	IRSN/PRP-HOM	59
François REBIERE	IRSN/PRP-HOM	
Valérie RENAUD-SALIS	IRSN/PRP-HOM	
Jacques REPUSSARD	IRSN/DG	

Vincent REY	Université de Toulon et du Var	
Fabienne RIBEIRO	IRSN/PSN-RES	
Laurent RICCIARDI	IRSN/PSN-RES	
Jérôme RICHARD	IRSN/PSN-RES	
Yann RICHET	IRSN/PSN-EXP	
Nicolas RIMBERT	Université de Nancy I	52
Marie-Christine ROBE	IRSN/DRH	
Anthony RONDEAU	IRSN/PSN-RES	122
Véronique ROUYER	IRSN/DSDP	
Laurence ROY	IRSN/PRP-HOM	
Pierre RUYER	IRSN/PSN-RES	
Benoit SABOT	IRSN/PSN-RES	123
Jean-Christophe SABROUX	IRSN/PSN-RES	
Paul SAPIN	IRSN/PSN/RES	86
Matthieu SCHULER	IRSN/DSDP	
Oona SCOTTI	IRSN/PRP/DGE	
Alexandra SEMONT	IRSN/PRP-HOM	
Marie SIMON-CORNU	IRSN/PRP-ENV	
Irène SOROKINE-DURM	IRSN/DSDP	48
Sidi Mohamed Ould SOUVI	IRSN/PSN-RES	
Sylvain SUARD	IRSN/PSN-RES	
Mouhmadou SY	IRSN/PRP-ENV	151
Julien TAFOREAU	IRSN/PRP-HOM	44
Isabelle TAUPIER-LETAGE	Mediterranean Institute of Oceanography	92
Christine TESSIER	IRSN/PRP-HOM	
Nicolas THEODORAKOPOULOS	IRSN/PRP-ENV	163
Nicolas THERME	IRSN/PSN-RES	124
Frederic TOROSSIAN	IRSN/PRP-HOM	33
Elodie TORRES	IRSN/PSN-RES	125
Guy TREGLIA	Université de Marseille - CINAM	
Julien TRINCAL	IRSN/PSN-RES	127
Benoit USUNIER	IRSN/PRP-HOM	161
Romain VANDEPUTTE	IRSN/PSN-RES	84
Kevin VARRALL	IRSN/PSN-RES	129
Aurélie VAURIJOUX	IRSN/PRP-HOM	153
Fabienne VAYRON	IRSN/DSDP	
Elise VI NHU BA	IRSN/PRP/DGE	90
François VIANNA	IRSN/PRP-HOM	42
Pierre-Guy VINCENT	IRSN/PSN-RES	
Quoc Tang VO	IRSN/PSN-RES	100
Sergey ZHIVIN	IRSN/PRP-HOM	154

Pôle radioprotection (PRP) : Protection de l'homme (HOM),
 Environnement (ENV),
 Déchets et géosphère (DGE)

Pôle sûreté nucléaire (PSN) : Recherches en sûreté (RES),
 Expertises en sûreté (EXP),
 Systèmes, nouveaux réacteurs et démarches de sûreté (SRDS)



IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Siège social
31, avenue de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
RCS Nanterre 546 018

Téléphone
+33(0)1 58 35 88 88

Site internet
www.irsn.fr