

RADEN- μ biologie

C. Sergeant
M.H. Vesvres

L. Durand (Ingénieur Maturation AST, 2024 - mi 2025)
Stagiaires de M2, master EXCE U. Bx (1/an)

Présentation - Contexte



Quoi?

**Les radioéléments dans l'environnement
(anciens sites miniers (ZATU), sites accidentels,
assainissement post-démantèlement des IN)**

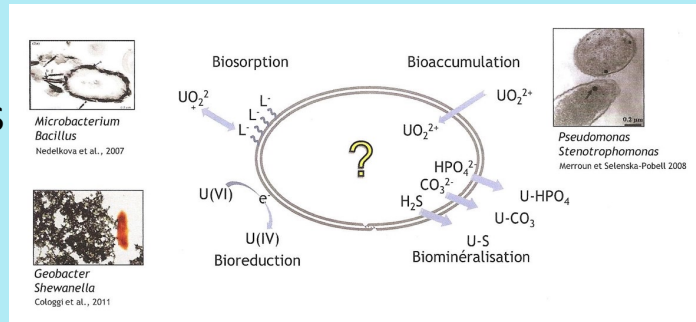
**Action des μorganismes (dont les bactéries) sur les radioéléments
dans les compartiments (eau, sédiments, sols) de l'environnement**

Possible bioremédiation de l'environnement

Comment?

- 1) Prélèvement d'échantillons sur le terrain en tubes stériles
- 2) Isolement des souches bactériennes par mise en culture (aérobie ou anaérobie)
- 3) Identification des souches par biologie moléculaire (extraction ADN, PCR, séquençage ARNr 16S, traitement informatique des données)
- 4) Mise en contact avec radioéléments (U par exple) pour détermination radiotolérance
- 5) μscopie électronique à transmission (au BIC) pour mode d'interaction (sorption, accumulation, minéralisation, réduction)

**Valorisation: Synthèse de billes biotransformées
par souche bactérienne pour décontaminer
effluents aqueux chargés en métaux et
radioéléments (procédé breveté en 2024)**



Les grandes questions scientifiques... pour l'avenir

1 Mieux comprendre quelles actions directes ou indirectes ont les souches bactériennes dans un environnement contaminé en radionucléides

En aérobie, en anaérobie, par l'intermédiaire de sidérophores ...

2 Etudier des possibilités de bioremédiation de milieux environnementaux (eaux, effluents, sols, sédiments) contaminés en métaux ou radionucléides

En poursuivant l'étude du procédé breveté (billes de polymères biotransformées)

Objectifs / Apports de l'équipe



Objectifs?

Isolement et identification de souches bactériennes en aérobie et anaérobie à partir d'échantillons environnementaux

Etude d'interactions bactéries-uranium (croissance, tolérance, processus engagés,...)

Résultats marquants?

Souchothèque d'~1000 souches bactériennes isolées de différents environnements (argiles de Bure, du Mont Terri, tranchées près de Tchernobyl, sources minérales naturellement radioactives, ancien site minier d'uranium français - Rophin) => nombreuses études possibles

Sélection de population bactérienne par la radioactivité dans des sources minérales naturellement radioactives (thèse G. Holub, 2023)

Biosorption et biominéralisation par une souche de *Serratia fonticola* isolée de sédiment de ruisseau proche de Rophin

Financements continus par la ZATU (> 2015), NEEDS, soutien IN2P3 d'équipe interdisciplinaire

A court - moyen terme (2025-2032):

- *Poursuite de l'étude des interactions bactéries/radioéléments avec de nombreuses souches isolées et conservées au laboratoire, dans le cadre du MP IN2P3 « Radioécologie terrestre & remédiation », WP Transfert/Transport, WP Effets et WP Remédiation
- * Projet dans le cadre du MP exploratoire IN2P3 « Radioécologie et Océan », WP Transfert dans la chaîne trophique et effets
- *Collaboration avec M. Bouby du KIT pour l'étude des sidérophores produits par les souches bactériennes des différents sites étudiés

A plus long terme :

Selon structuration de la recherche interdisciplinaire et RH de l'équipe

Objectifs / Apports de l'équipe



Objectifs?

Projet de valorisation (pré-maturation 2022 et maturation 2024-2025):

Etude des billes en présence de faibles et fortes concentrations des métaux ciblés
Etudes mécanique, toxicologique, ...

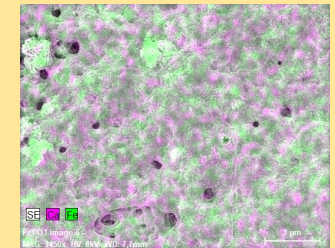
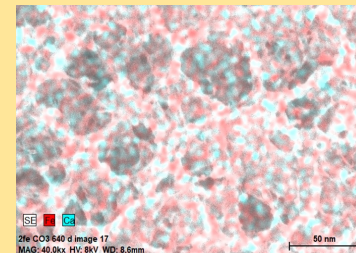


Résultats marquants?

Procédé breveté de décontamination de 10 métaux (Cd, Pb, Co, Fe, Al, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba) par des billes de polymère biotransformées

Etude de 2 mélanges industriels complexes (mélange de C de 0,01 μ M à 1,5 mM)

Images de MEB prouvant l'accumulation des polluants jusqu'au cœur des billes



A court - moyen terme (2025-2032): Trouver un industriel intéressé par le procédé
Si financement, poursuivre le travail de maturation pour parvenir à mieux comprendre les processus mis en jeu et réussir un essai pilote



Figure 4 : Filtration sur billes Beadmet (à gauche), et sur résine SIMPUR (à droite)



Figure 1 : Banc de filtration

Départs en retraite de Claire et M. Hélène avant 2032 ...

=> **Grandes inquiétudes pour la suite des activités, si aucune arrivée de nouvelle personne susceptible de travailler sur cet axe de recherche**

Les besoins

1

RH: besoin d'un chercheur permanent et d'un IT

Pour 2026: demande d'un CDD chercheur à l'IN2P3 en cours

Demande de contrat de thèse à l'EDSC, suite à stage M2 de 2026

Autre demande si projet Région ou autre

2

Moyens financiers suffisants pour maintenir les équipements, notamment pour la sécurité (filtres des ETRAF et maintenance des sorbonnes, de l'autoclave, des centrifugeuses, de l'AAS)

RADEN-Gaz Rares (PIAGARA)

E. Gilabert

D. Horlait

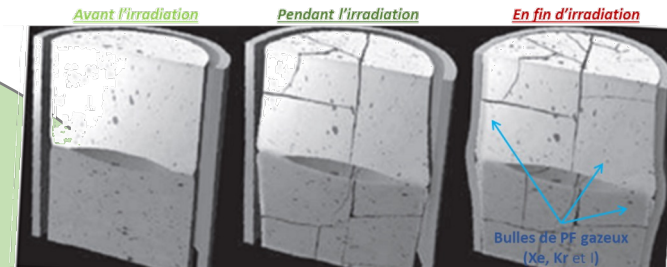
J. Guézénoc (Post-doc 2024-2026)

S. Roudeau (Service Plateformes)

Les grandes questions scientifiques... pour l'avenir



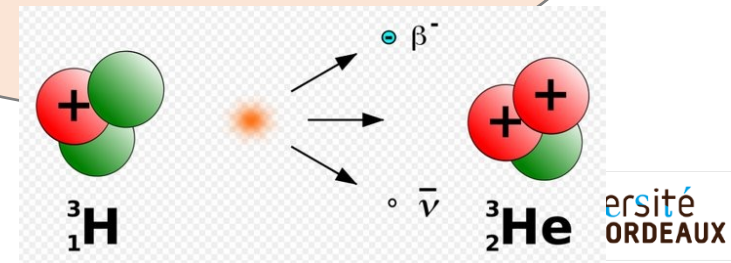
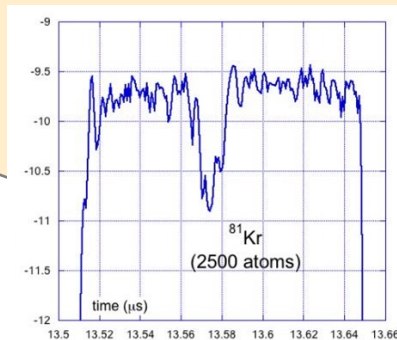
1
Comment les gaz
rares influencent-ils les
matériaux nucléaires?



Nouveau
spectro de masse

3
Mesures aux
ultra-traces du tritium par
recroissance de l'hélium-3

2
Le **RIS-ToF** : outil de
pointe pour la mesure
du krypton et du xénon



Présentation - Contexte



Quoi?

Les gaz rares (ou gaz nobles) :
*imperceptibles, (quasi-)inertes,
presque toujours gazeux*



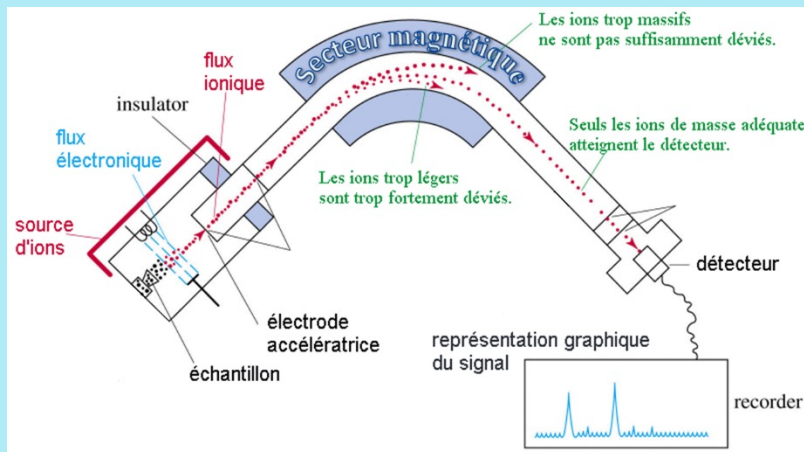
A l'échelle des traces ou ultra-traces :
jusqu'à quelques milliers d'atomes...

... dans une matrice en contenant 10^{+20} fois plus

On mesure leurs quantités élémentaires et isotopiques

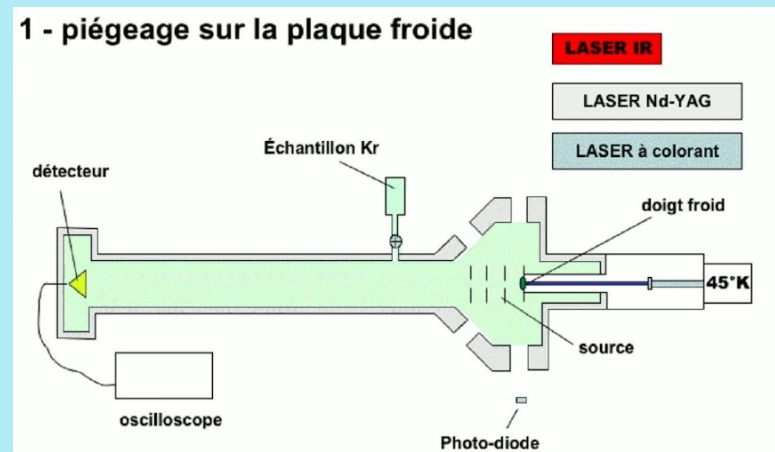
- 1) Extractions des gaz rares depuis leur matrice hôte
- 2) Purification des gaz
- 3) Analyse par spectrométrie de masse :

Spectromètres de masse à secteur magnétique



Une centaine dans le Monde

Spectromètre RIS-ToF



3 appareils semblables au Monde

Comment?

Objectifs / Apports de l'équipe

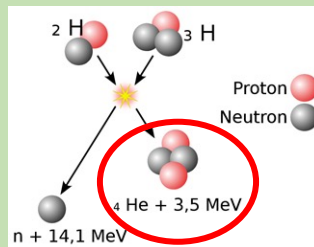


1

Comprendre les mécanismes et mesurer les cinétiques de diffusion des gaz rares dans les matériaux de réacteurs à fission ou à fusion.

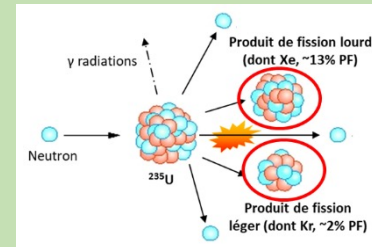
Objectifs?

Dans les réacteurs de fusion :



Accumulation de He dans les parois

Dans les réacteurs de fission :



Xe et Kr s'accumulent dans les combustibles

Comportement et diffusion de ces gaz?

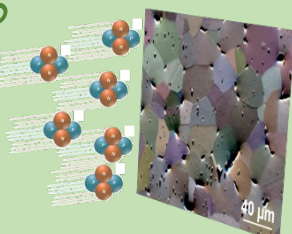


Enjeux majeurs :

Trouver des matériaux résistants à l'irradiation H + He pour la fusion
Xe et Kr causent la limitation du taux de combustion des combustibles

Depuis 2007, ~15 publications sur le comportement diffusif des gaz rares dans UO_2 , SiC, Fe, etc.
Financements continus par EURATOM, NEEDS, CEA, etc.

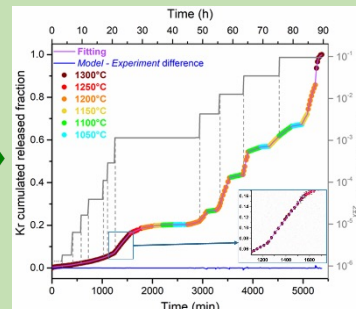
Résultats marquants?



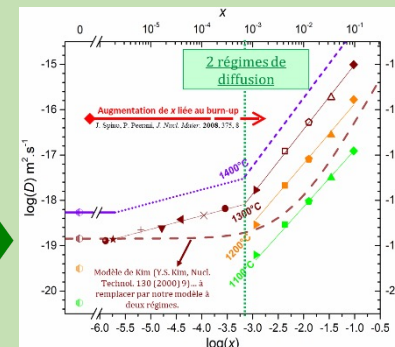
Implantation en
Xe, Kr ou He



Chauffage L2PAON



Relâchement de Xe, Kr ou He



Mécanismes et
cinétiques de diffusion

Comprendre les mécanismes et mesurer les cinétiques de diffusion des gaz rares dans les matériaux de réacteurs à fission ou à fusion.

- * Installation & expertise uniques
- * Sujets / technicité maîtrisés
- * Thématique d'intérêt pour la tutelle IN2P3
- * Besoin de telles études garanti
- * Evolution RH de PIAGARA
- * Vétusté des spectromètres de masse



Contexte favorable à la poursuite de l'activité

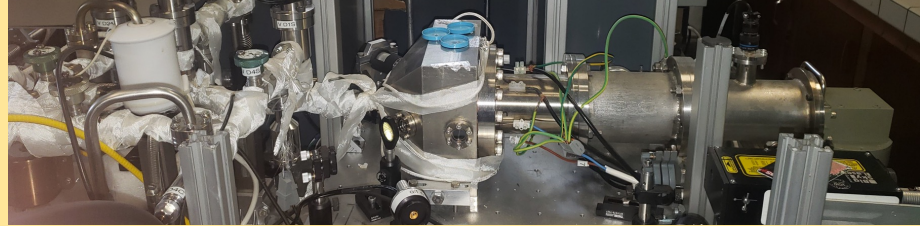
Objectifs / Apports de l'équipe



2

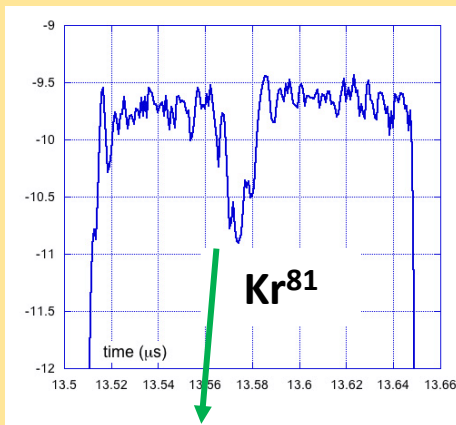
Développement et exploitation scientifique d'un spectromètre de masse RIS-ToF pour le krypton et le xénon

Objectifs?

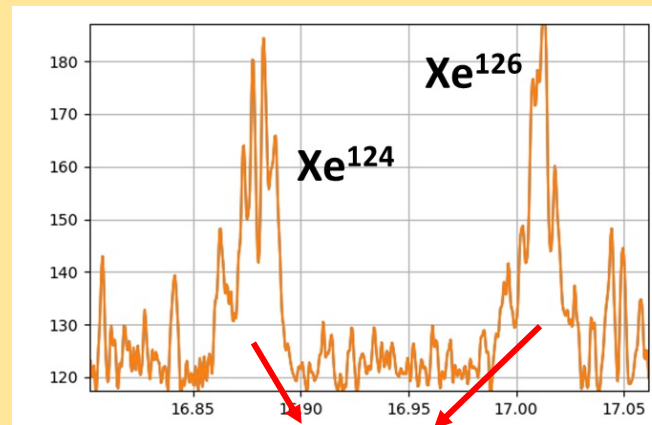


- * Développement d'un spectromètre capable de mesurer **1000 atomes (voire moins) de Kr ou de Xe**, avec une **précision de mesure de rapports isotopiques meilleure que 1%**.
- * Utilisation pour la mesure de paléotempératures en inclusions fluides, pour l'analyse de météorites et de matière extraterrestre

Résultats marquants?



~2500 atomes



~60000 atomes

Précisions
rapports
 $i\text{Xe}/j\text{Xe}$:
1 à 5%

2 Développement et exploitation scientifique d'un spectromètre de masse RIS-ToF pour le krypton et le xénon

- * Encore des développements nécessaires (1-2 ans?)
- * Performances Kr OK (co-meilleur au Monde) mais Xe insuffisantes (similaire aux spectros de masse commerciaux récents)
- * Outil quasi-unique au Monde
- * Utilité garantie
- * Evolution RH de PIAGARA
- * Projet très chronophage / temps de développement technique important
- * Applications visées peu en lien avec thématiques IN2P3



A continuer... et réévaluer dans 1-2 ans?

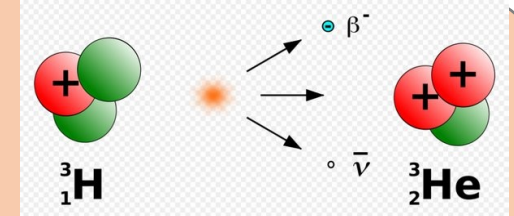
Objectifs / Apports de l'équipe



3 Mesures aux ultra-traces du tritium par recroissance de l'hélium-3

Objectifs?

Le tritium, isotope radioactif de l'hydrogène : l'un des plus mobiles des radioéléments rejeté par l'Homme dans l'environnement.



Limite de mesure par spectrométrie gamma :
~ 1Bq/L (soit ~ 5×10^8 ^3H /L)

Limite de mesure par recroissance de ^3He :
~ 1 mBq/L (soit ~ 5×10^5 ^3H /L)



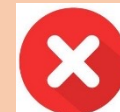
Développer une ligne analytique pour l'analyse ultratraces du tritium



Etudier les déchets radioactifs rejetés en mer
→ Projet NODSSUM

3 étapes clefs testées :

- * Dégazage sans perte d'échantillon
- * Etanchéité maintenue sur plusieurs mois
- * Sensibilité de mesure et qualité de bruit de fond du SM insuffisant



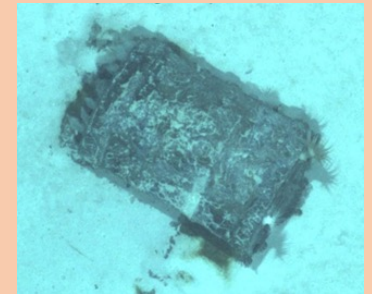
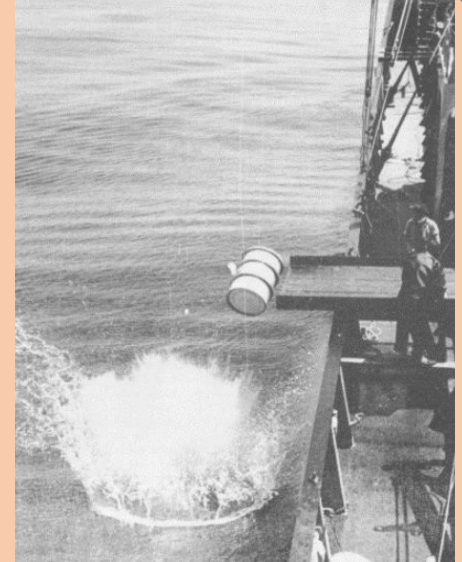
Résultats marquants?

3 Mesures aux ultra-traces du tritium par recroissance de l'hélium-3

- * **Activité naissante...**
- * **...mais prometteuse**
- * **Conditionné à l'acquisition d'un nouveau spectromètre de masse...**
- * **...déjà à moitié financé (PEPR Energie)**
- * **Evolution RH de PIAGARA**
- * **Thématique d'intérêt pour la tutelle IN2P3, engagée fortement avec le projet NODSSUM**



Efforts à poursuivre
Et après NODSSUM?



Les besoins



RH : Départ en retraite d'Eric Gilabert → **1 CR permanent dès 2027**

Comment continuer à entretenir PIAGARA (et faire de la Science) pendant plusieurs décennies?

Soutien
renforcé des
Services

* **Apport RH** en soutien
d'activité de prestation / via
bourse de financement?
* **Recrutement nouvel IR
AITNA?**

Rationalisation/
simplification des
équipements

**Nouveau spectromètre
de masse (commercial)**