

Quel rôle pour les bactéries dans des environnements contaminés par des radioéléments ?

Claire SERGEANT

Chercheur CNRS, équipe Radioactivité et Environnement

Les lundis de l'OHM Fessenheim, 13 juin 2022

Sommaire

1. Généralités sur le monde bactérien
2. Les environnements pollués en métaux et radioéléments
3. Les processus de bioremédiation
4. Les différents types d'interactions entre bactéries et métaux/
radioéléments
5. Etudes du LP2i Bordeaux dans le domaine
6. Conclusion

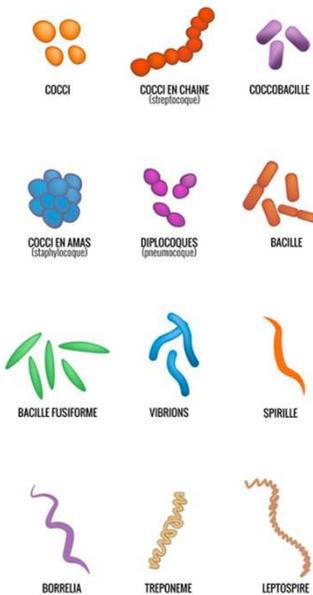
1. Généralités sur le monde bactérien

Les **bactéries** sont des **micro-organismes** vivants, au même titre que les virus et les champignons. Découvertes à la fin du 17^{ème} siècle par Anthoni Van Leeuwenhoek, naturaliste hollandais, inventeur de la microscopie.

Les **bactéries mesurent entre 0,5 et 10 -15 µm**. Ce sont des **organismes procaryotes qui ne possèdent pas de noyau**, mais un ADN chromosomique circulaire situé dans le cytoplasme.

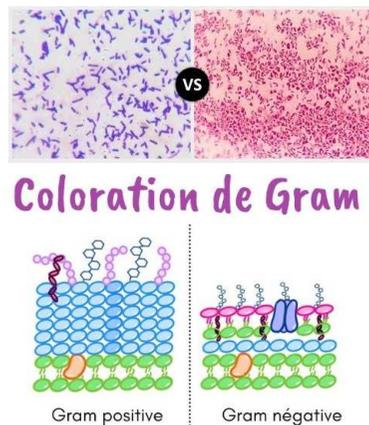
Elles sont entourées d'une paroi complexe et possèdent souvent des flagelles.

Différentes caractéristiques morphologiques



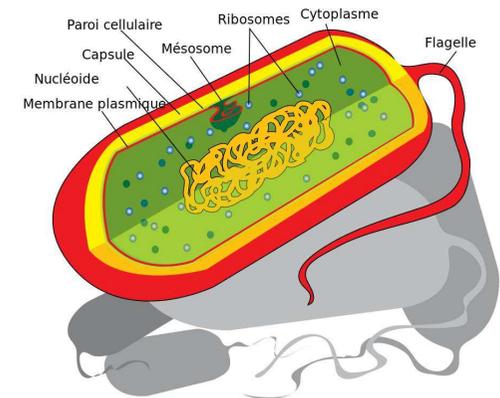
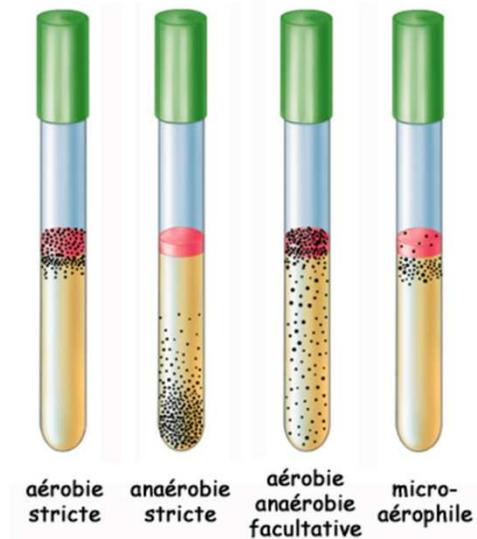
Réaction à la coloration de Gram

Différencier les bactéries en fonction de leur capacité de coloration variant selon la composition de leur paroi



bleu-violet / rose

Besoins en oxygène



La respiration cellulaire

*aérobie

Bactéries aérobies strictes :

- respiration aérobie : O₂ accepteur d'électrons dans la respiration

*anaérobie: Extrêmement importante du point de vue écologique

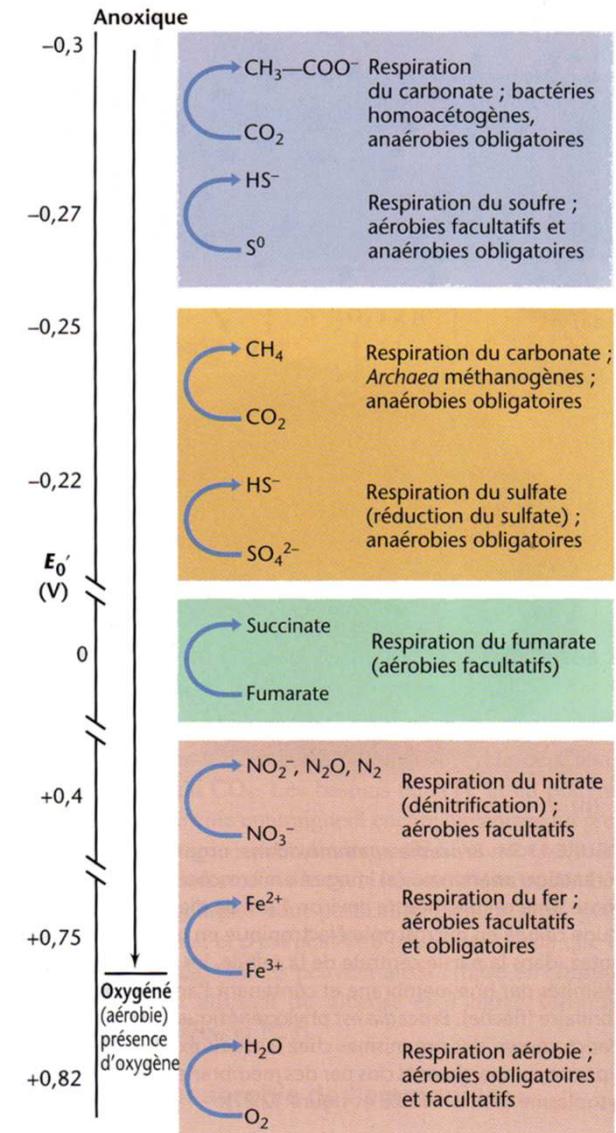
Mécanisme dans lequel les électrons passent sur une chaîne de transporteurs dont l'accepteur final est une substance autre que O₂
Moins d'énergie libérée

Bactéries aérobies anaérobies facultatives :

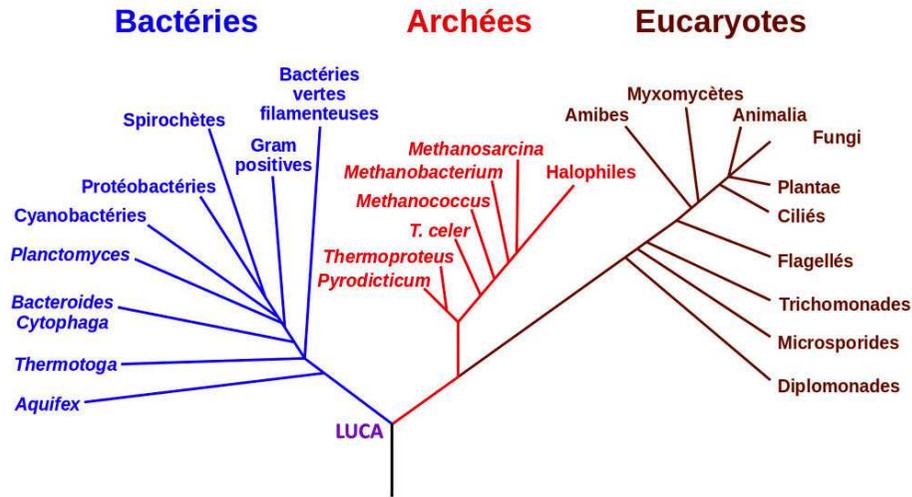
- respiration aérobie (O₂) et voies alternatives en absence d'O₂
- respiration anaérobie
- fermentation (accepteurs d'électrons sont des métabolites)

Bactéries anaérobies strictes :

- respiration anaérobie

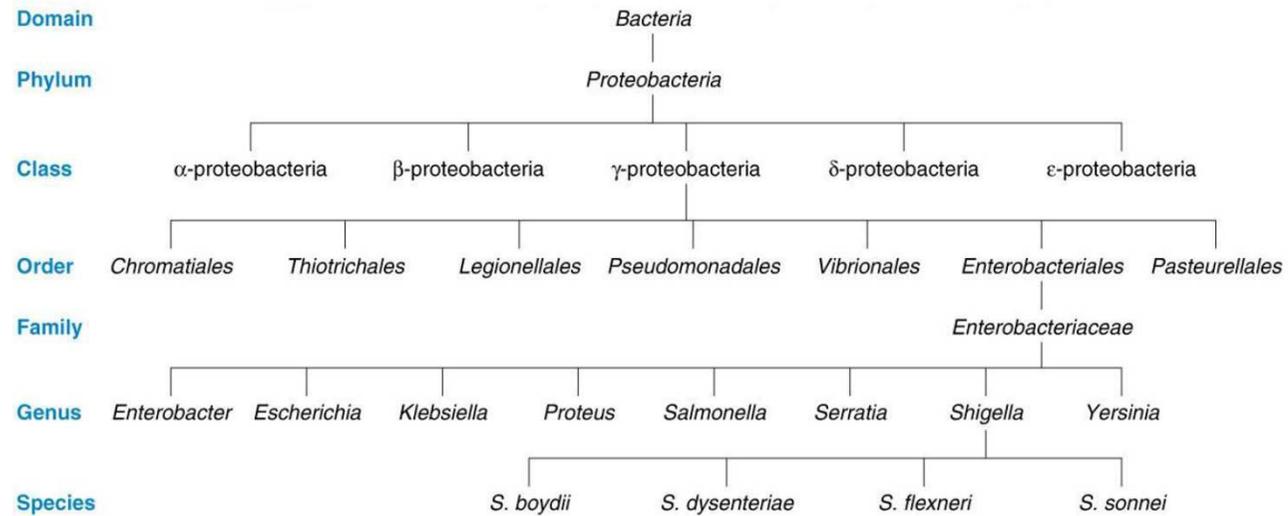


Arbre phylogénétique de la vie

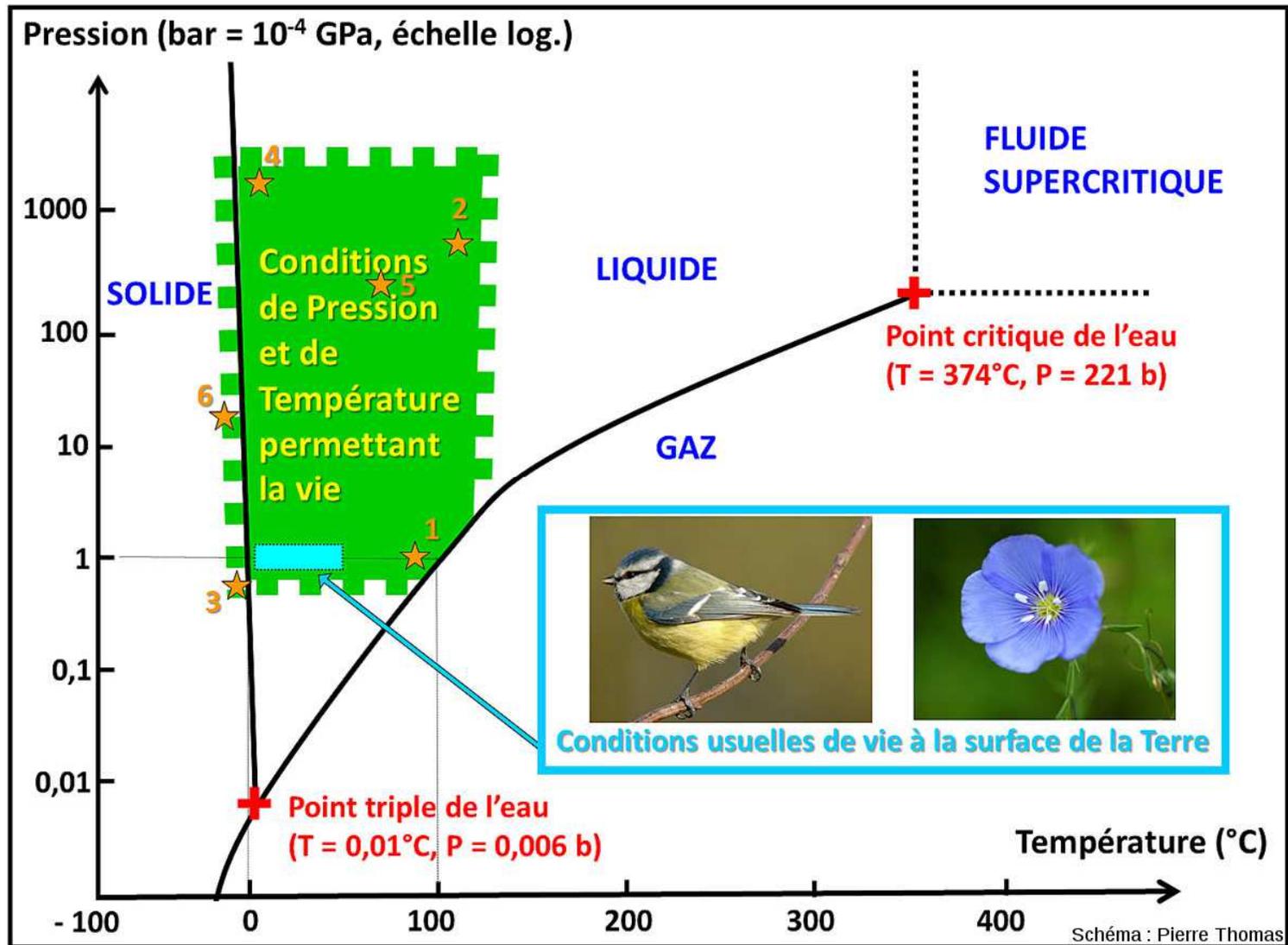


Source: Site Planet-Terre

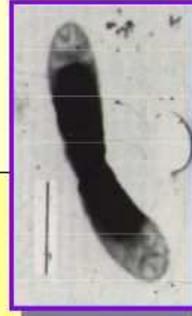
Classification par l'ADN (ARNr 16S) déterminant le phylum, leur nom et leur positionnement en arbres phylogénétiques



μorganismes présents dans de très nombreux environnements terrestres, y compris extrêmes



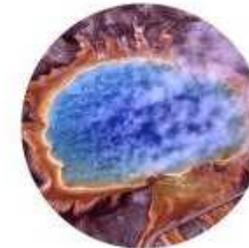
Les bactéries extrêmophiles



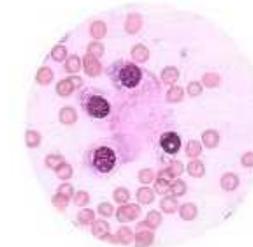
- Acidophiles: pH 2 - 6
- Alcalophiles: pH 8 - 11
- Thermophiles: 60 - 70 °C
- Hyperthermophiles: 80 - 100°C
- Psychrophiles : 5 - 20°C
- Halophiles: 1 - 35 g/l NaCl
- Hyperhalophiles: 150 - 300 g/l NaCl
- Barophiles: P > 1 atm
- Xérophiles: milieux très secs

TYPES D'EXTRÊMOPHILES

THERMOPHILES



PSYCHROPHILES



ACIDOPHILES



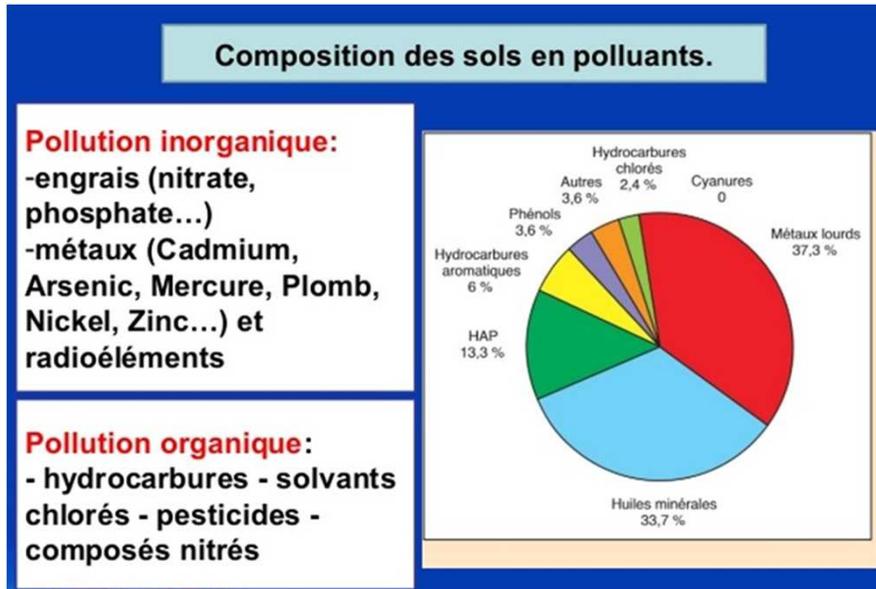
XÉROPHILES

Source: site Projet Ecolo

2. Les environnements pollués en métaux et radioéléments

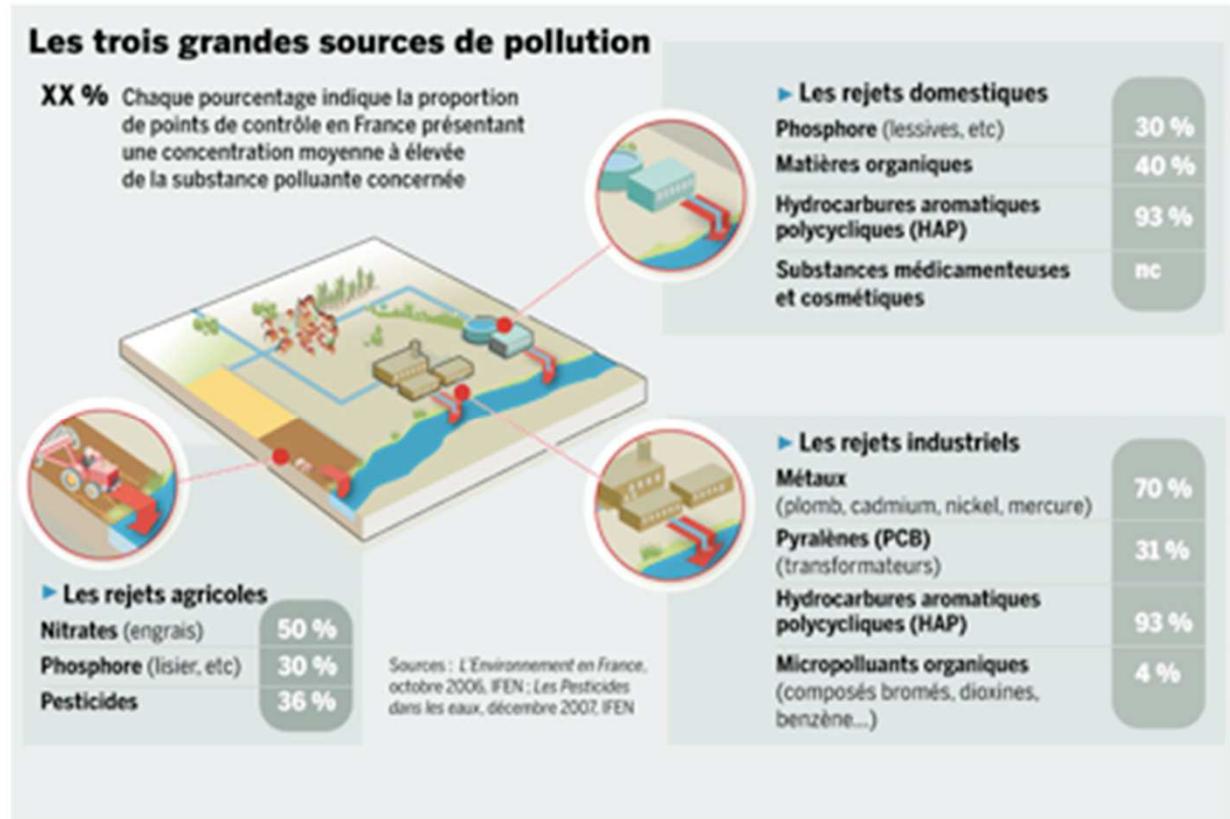
Contamination des sols de la planète

Situation française



Source: site SlideShare

- 1/3 par des métaux lourds et RNs
- 1/3 par des huiles minérales
- 1/3 par tous les autres toxiques



Source: site medias.lemonde.fr

Environnements contaminés par des radionucléides

Quarantaine de sites pollués par des substances radioactives en France, principalement par du **radium** (source IRSN)

- Sites industriels d'extraction ou de mise en œuvre de la substance (assainissement terminé ou en cours)
- Petites entreprises utilisant le radium (diagnostics en cours)

Sites contenant de la radioactivité naturelle renforcée (TE-NORMs: Technology Enhanced-NORMs):

- Anciens sites d'extraction et de traitement minier d'uranium => **ZATU**
- Etablissements thermaux
- Anciens sites d'activités industrielles modifiant les équilibres physico-chimiques de la radioactivité naturelle contenues dans les matières utilisées et la concentrant dans les déchets produits

Exemples: *traitement de minerais de Sn, Al, Cu, Ti, Nb, Bi, Th et de TiO₂, terres rares

*production de céramiques réfractaires, zircon, engrais phosphatés,...

Sites contenant de la radioactivité artificielle, ayant trois origines principales:

- les rejets réglementés et autorisés des installations nucléaires et ceux liés aux activités de médecine nucléaire (examens radiologiques et traitements médicaux)
- les retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires (de 1945 à 1980) et de l'accident de Tchernobyl en 1986
- la rémanence des retombées de l'accident de Tchernobyl et des tirs atmosphériques qui constitue le bruit de fond de la radioactivité artificielle de l'environnement français

Potentielles situations post-accidentelles

Principaux radionucléides artificiels présents dans l'environnement en France

Radionucléide	Période radioactive	Émissions principales	Principal descendant	Origines principales
^3H	12,32 ans	Bêta	^3He	Cosmique, essais nucléaires, rejets de l'industrie nucléaire et horlogère
^{14}C	5 730 ans	Bêta	^{14}N	Cosmique, essais nucléaires, rejets de l'industrie nucléaire et de la recherche
^{60}Co	5,27 ans	Bêta, gamma	^{60}Ni	Rejets de l'industrie nucléaire
^{90}Sr	28,78 ans	Bêta	^{90}Y	Essais nucléaires, rejets de l'industrie nucléaire
^{131}I	8 jours	Bêta, gamma	^{131}Xe	Rejets de l'industrie nucléaire et des services de médecine nucléaire
^{137}Cs	30,07 ans	Bêta, gamma	^{137}Ba	Essais nucléaires, accident de Tchernobyl, rejets de l'industrie nucléaire
^{238}Pu	87,7 ans	Alpha	^{234}U	Essais nucléaires, rejets de l'industrie nucléaire
$^{239+240}\text{Pu}$	24 100 et 6 560 ans	Alpha	$^{235+236}\text{U}$	Essais nucléaires, rejets de l'industrie nucléaire

Source: IRSN

Les techniques de réhabilitation de sols pollués, *in situ* ou *ex situ*

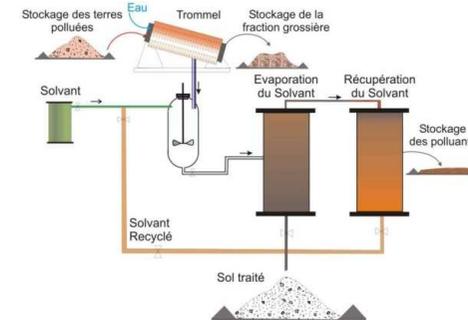


A classer en 4 grandes catégories:

-**les traitements physiques:** utilisent des fluides (eau, gaz), présents dans les sols ou injectés, comme vecteur pour transporter la pollution vers des points d'extraction ou pour l'immobiliser

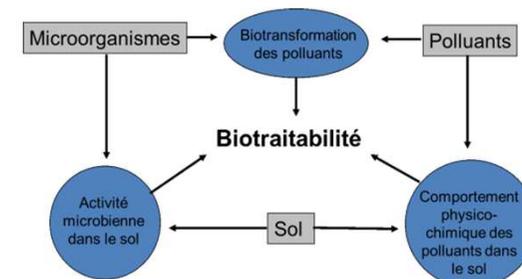


-**les traitements chimiques:** font appel à des réactifs chimiques pour détruire les polluants, les transformer en des composés moins toxiques et/ou plus facilement biodégradables ou pour modifier leurs caractéristiques



-**les traitements thermiques:** utilisent de la chaleur pour détruire le polluant, l'isoler ou le rendre inerte

-**les traitements biologiques** dans lesquels des micro-organismes et/ou des plantes favorisent la dégradation des substances chimiques toxiques pour les rendre moins toxiques → BIOREMEDIATION



3. Qu'est-ce que la bioremédiation?

C'est la mise en œuvre intentionnelle par l'homme d'un processus de **biodépollution**.

Biodépollution: dépollution biologique.

Elle peut résulter:

(1) d'une **biodégradation**: décomposition partielle ou totale d'un produit par un agent biologique, produisant des composés chimiques simples (H₂O-Eau, CO₂ -Gaz carbonique, CH₄-Méthane, H₂-Hydrogène, Chlorures, ou encore de l'Acétate, des produits de fermentation)

(2) d'une inactivation du polluant par **biotransformation**: transformation d'un produit par un agent biologique

Agents biologiques= bactérie ou/et champignon ou/et plante (phytoremédiation)

Avantages:

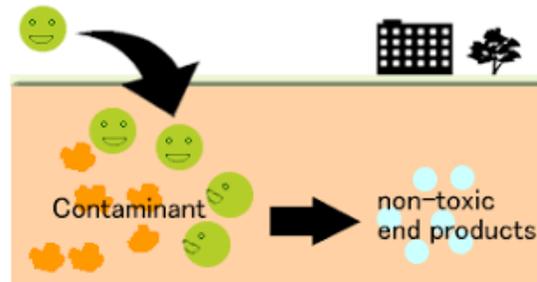
- Processus naturel
- Souvent réalisé sur place
- Sans perturbation du site
- Moins coûteux

Inconvénients:

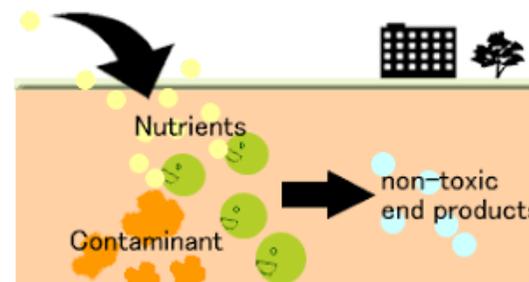
- Limitée aux composés biodégradables
- Plus lente que d'autres process
- Peu efficace à basse température ou à forte concentration en polluants

Exemples de technologies utilisées:

Bio-augmentation: injection sous pression de cultures de microorganismes dans les milieux pollués pour favoriser et augmenter la dégradation naturelle des contaminants organiques



Bio-stimulation: améliorer la dégradation des contaminants en favorisant l'activité des micro-organismes indigènes par optimisation des conditions du milieu (pH, humidité, nutriments ...)



Grand nombre de composés pouvant être dépollués par des bactéries:

Exemples de correspondances entre polluants et bactéries dépolluantes (Source : Biodépol'99) :

Nitrates : Comamonas, Hyphomicrobium

Phosphates : Acinetobacter, Moraxella

Pesticides : Enterobacter

Dioxines : Brevibacterium

Cyanures : Thiobacillus, Rhizoctonia

Composés soufrés : Thiobacillus

Caoutchoucs : Sulfolobus, Rhodococcus, Thiobacillus

Huiles, graisses : Pseudomonas, Xanthomonas, Bacillus

Hydrocarbures : Acinetobacter, Flavobacterium, Bacillus, Pseudomonas, Achromobacter, Arthrobacter

Métaux lourds : Saccharomyces, Rhizopus, Chlorella, Thiobacillus, Zoogloea

Radionucléides: *Microbacterium*, *Bacillus*, *Shewanella*, *Geobacter*, *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*, *Thermococcus*, *Halomonas*, *Deinococcus radiodurans* ...

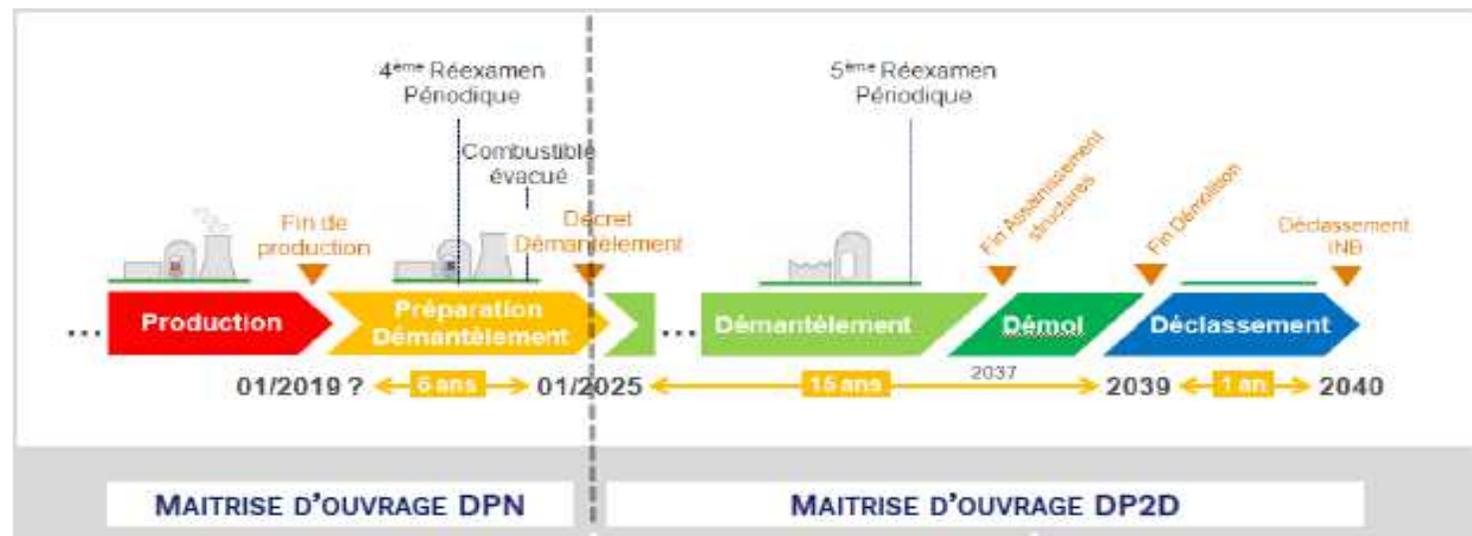
Environnements liés au démantèlement-assainissement des Installations Nucléaires

Phase 1: Après la mise à l'arrêt définitif (dont le déchargement du combustible, la vidange de tous les circuits, le démontage des installations non nucléaires), 99,9% de la radioactivité est éliminée.

Phase 2: Après le décret de mise à l'arrêt définitif et démantèlement, commence le démontage des équipements de tous les bâtiments (sauf le bâtiment réacteur), le conditionnement et l'évacuation des déchets vers les sites de stockage.

Phase 3: Cette dernière phase correspond au démantèlement de la cuve, à la démolition des bâtiments et à **l'assainissement des sols** => niveau de radioactivité naturelle

Nécessaire **caractérisation et traitement *in situ* des marquages radiologiques des sols et des eaux souterraines.**



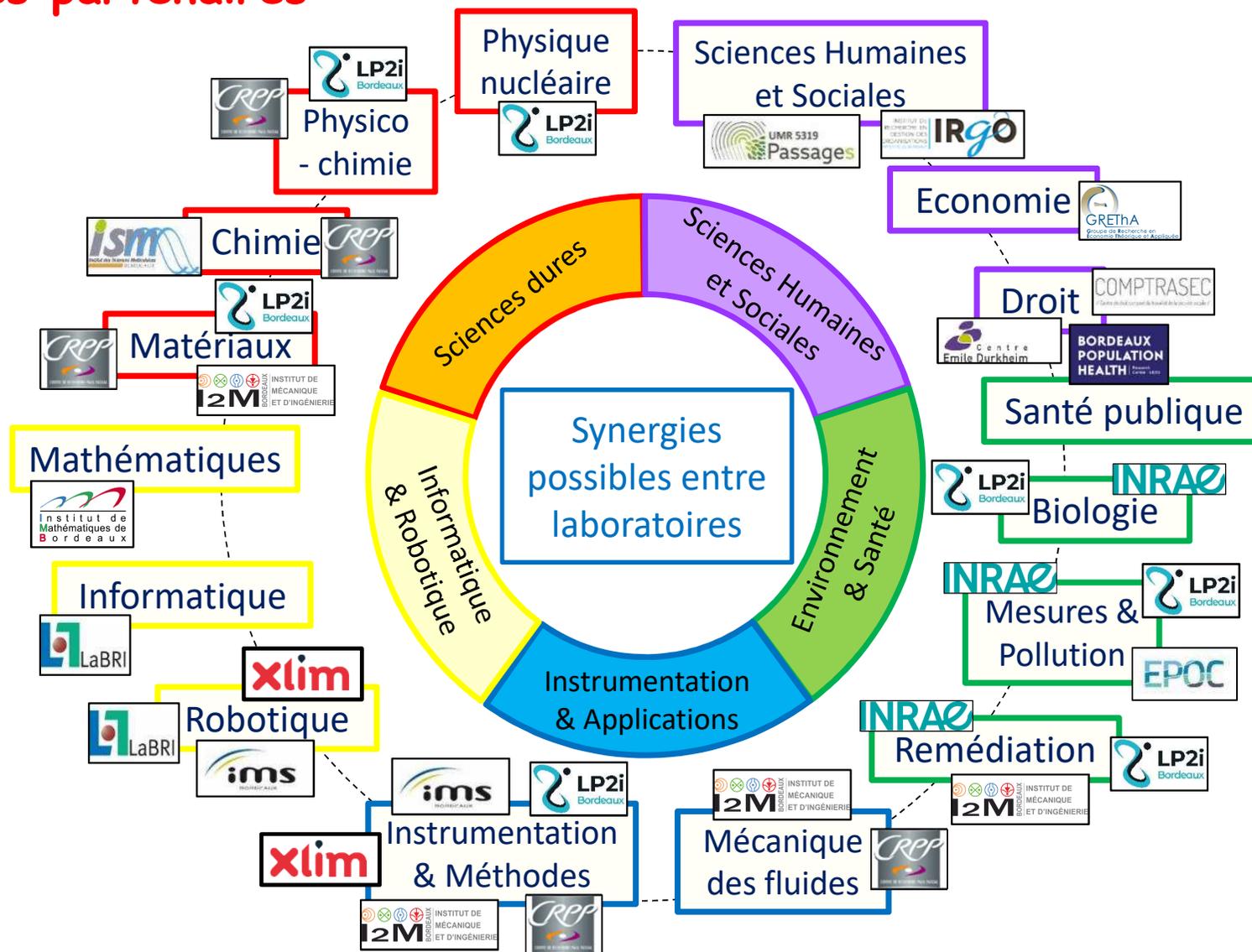
Source: EDF

2019: création d'un consortium multidisciplinaire de labos de recherche en région Aquitaine=> le **projet DEMAIN**, défi scientifique et technique soutenu par l'Université de Bordeaux

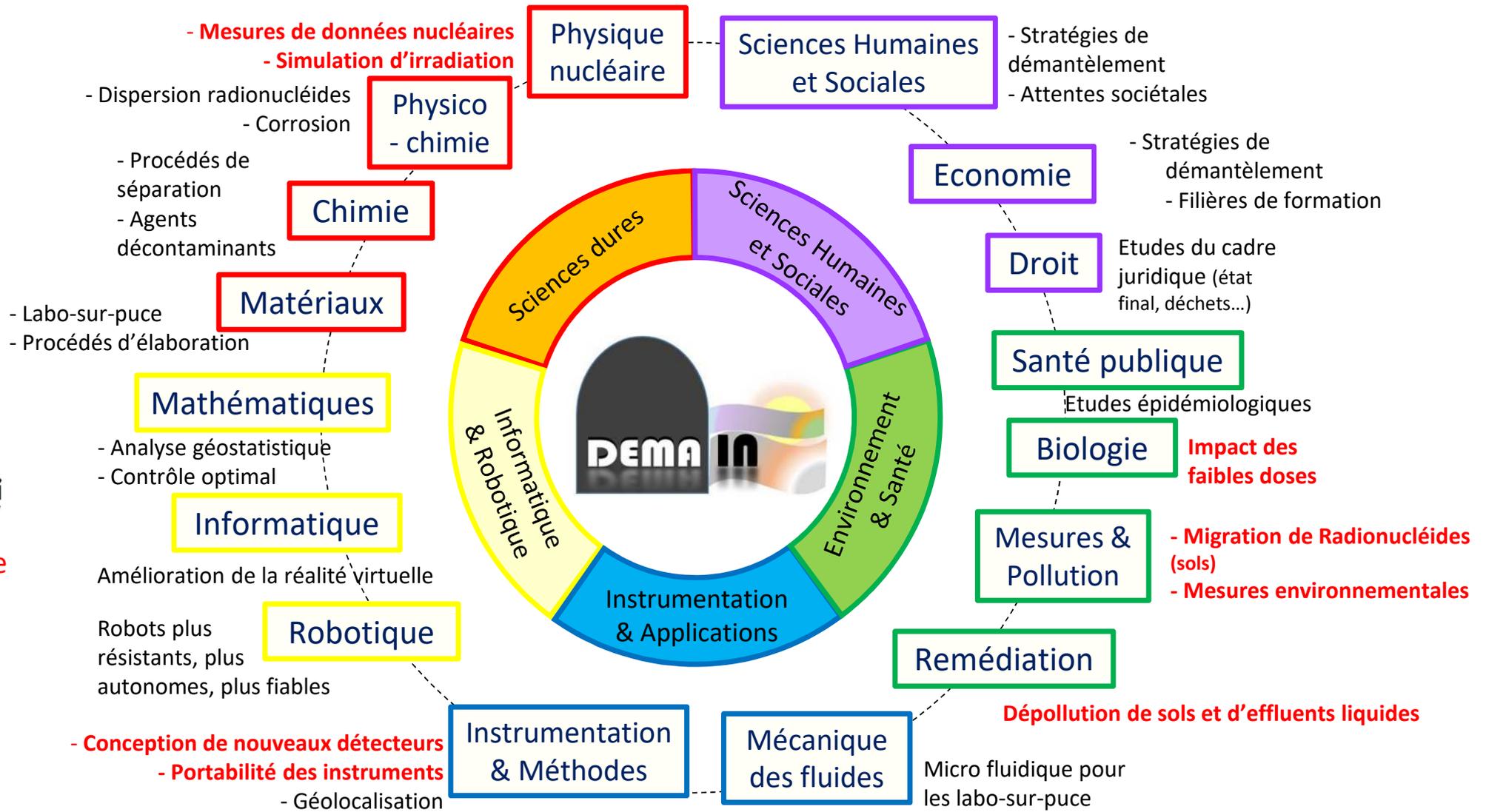


Laboratoires partenaires

Vingtaine de laboratoires intéressés



Items de R&D



Développement d'un nouveau procédé de bio-remédiation (LP2i Bordeaux: A. Williamson et C. Sergeant)

Encapsulation bactérienne pour améliorer leur potentiel de bio-remédiation

Problématique : bio-remédiation limitée par des facteurs abiotiques (fluctuation de pH, de température, présence de métaux toxiques, mauvais accès aux nutriments, etc...)

Solution proposée : encapsulation de bactéries par un polymère, dans des billes de taille millimétrique

⇒ protection contre les facteurs toxiques de l'environnement

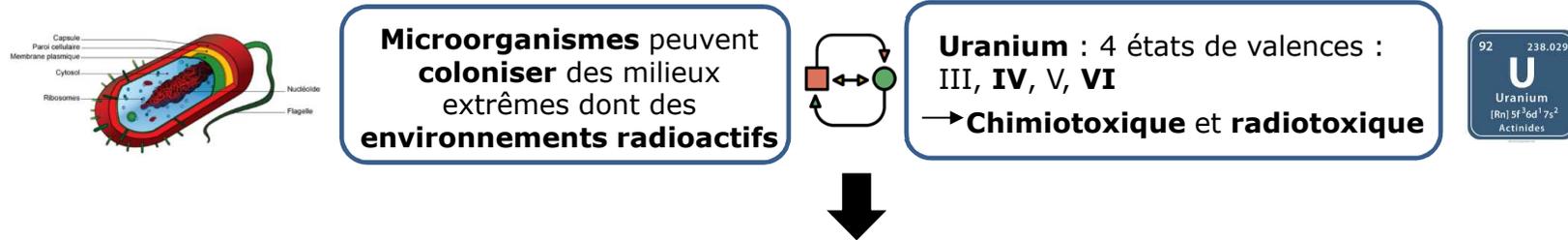
⇒ augmentation des capacités métaboliques des bactéries

Résultats :

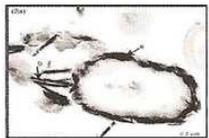
- expériences en cours sur la dépollution de métaux et de RNs contenus dans des effluents liquides
- dépôt d'un [brevet](#) en décembre 2021
- financement pré-maturation CNRS en 2022 (projet SYMBIOSE)



4. Les différents types d'interactions entre bactéries et métaux/ radioéléments



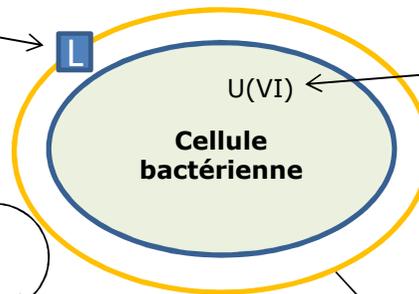
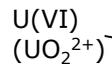
Exemple : Mécanismes d'interactions entre bactéries et uranium



Microbacterium
Bacillus
Nedelkova et al., 2007

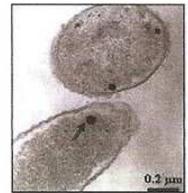
Biosorption

Bacillus sphaericus JG-7B
(Merroun et al., 2008)



Bioaccumulation

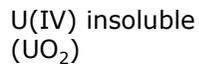
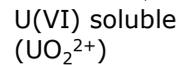
Pseudomonas aeruginosa
(Choudhary et Sar., 2011)



Pseudomonas
Stenotrophomonas
Merroun et Selenska-Pobell 2008

Bioréduction

Desulfovibrio desulfuricans
(Lovley et al., 1992)



Citrobacter sp.
(Macaskie et al., 1996)



Biominéralisation



Microbacterium
oleivorans
(Theodorakopoulos et al., 2015)



Geobacter
Shewanella
Cologgi et al., 2011

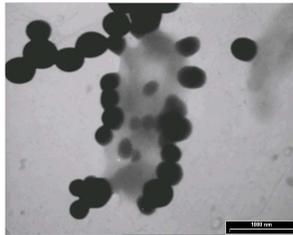
Immobilisation des polluants possible par:

Biosorption: phénomène passif de chélation avec composés des parois cellulaires, possible aussi avec μ organismes morts (bactéries gram⁺ ou champignons en particulier), qui permet de diminuer les quantités de métaux ou RNs mobiles dans les eaux, les sédiments ou les sols

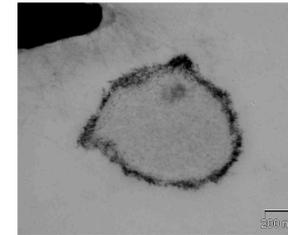
Bioréduction: phénomène actif qui nécessite des μ organismes vivants, et transforme les formes oxydées mobiles en formes réduites beaucoup moins solubles, d'un grand nombre de métaux et RNs (ex: Cr, Se, U, Tc, Pu)

Selon les espèces, la forme réduite peut s'accumuler à l'extérieur des cellules, dans le cytoplasme ou les membranes

Halomonas



Exemples avec Se (0)



Thermococcus

Biominéralisation-biopréciipitation: phénomène actif qui nécessite des μ organismes vivants, fixation de la forme oxydée, catalysée par des bactéries

Ex pour l'uranium: libération enzymatique de phosphate inorganique qui se complexe au métal, formant des précipités insolubles de phosphate d'uranyle (NaUO_2PO_4 ou $\text{NH}_4\text{UO}_2\text{PO}_4$ ou HUO_2PO_4)

Mais dissémination des polluants possible par:

- Réoxydation des espèces réduites par certaines souches bactériennes, selon la composition du milieu en agents complexants

Observé notamment pour Zn, Se, U

- Volatilisation dans l'atmosphère par méthylation induite par bactéries, champignons, algues; surtout connu pour I et Se

Impacts souvent observés de la contamination métallique ou radioactive sur la diversité bactérienne

- Changements de structure des communautés
- Enrichissement des milieux en certaines espèces mieux adaptées
- Présence d'espèces résistantes ou radorésistantes (ex: famille des *Deinococcus*: *D. radiodurans* peut survivre à 15kGy d'irradiation aigüe)

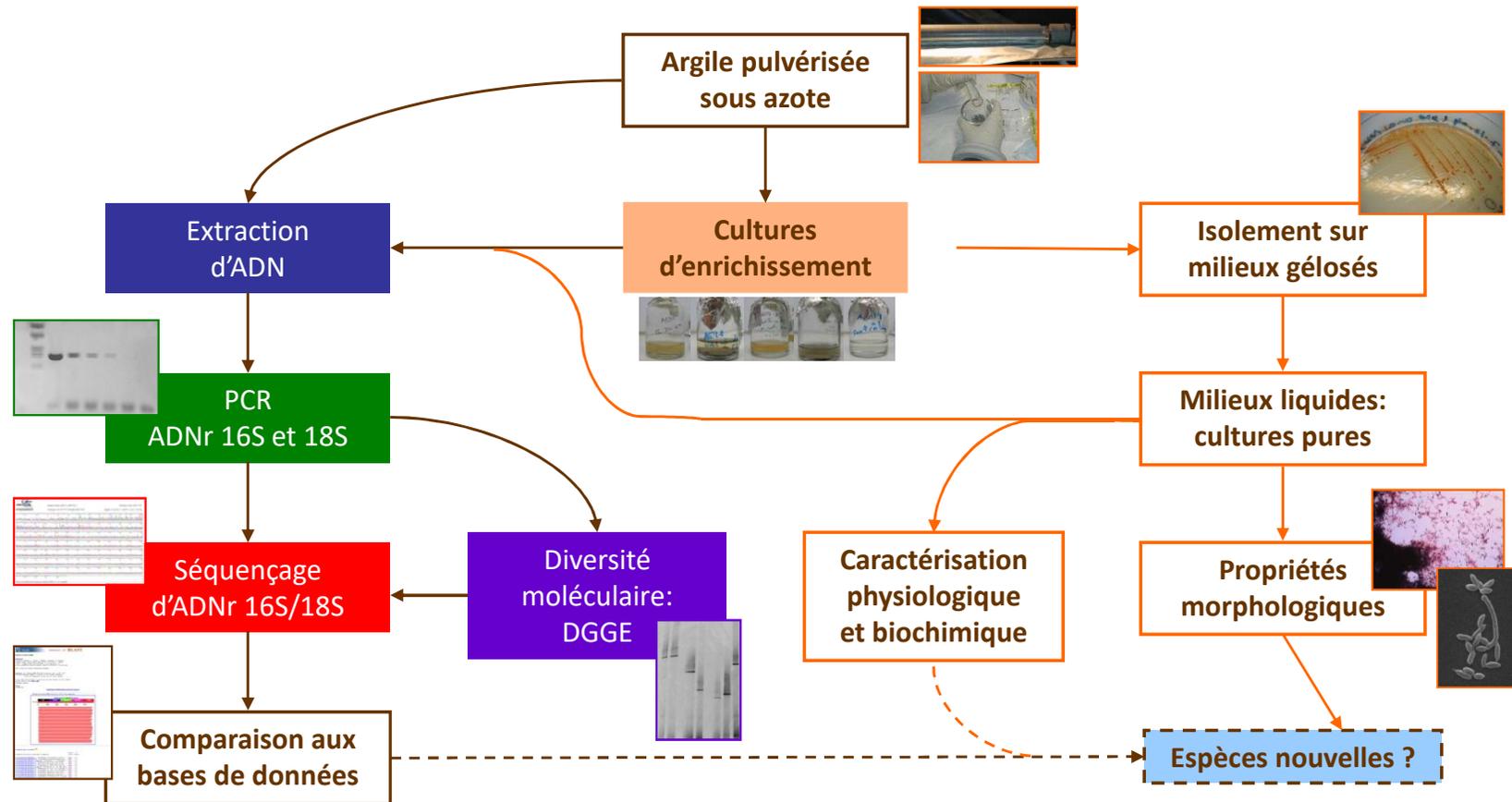
5. Etudes du LP2i Bordeaux dans le domaine

Préalable à l'étude de l'impact des microorganismes sur la mobilité des radio-éléments:
inventaire des bactéries autochtones de sites environnementaux

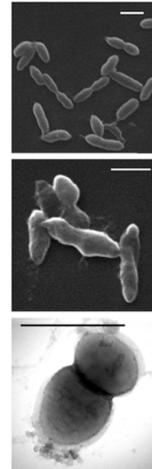
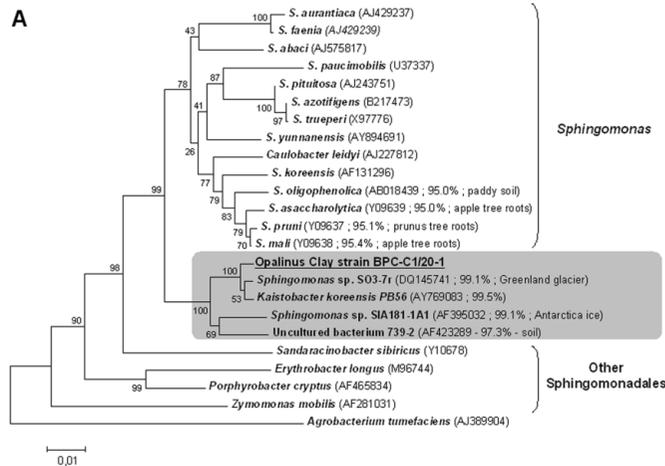
2003-2008: **Milieux argileux** (sites d'étude pour l'enfouissement des déchets radioactifs HAVL de Meuse/Haute-Marne-Bure, Mont Terri-Suisse)
Soutien du GNR FORPRO, de l'ANDRA, de la NAGRA, du Consortium Mont Terri, du Programme TAPSS 2000 (avec le BRGM)

Thèse ANDRA de S. Poulain (2003-2006): mise au point de toute la méthodologie très innovante des étapes de prélèvement, de conditionnement et d'expérimentation au laboratoire

Recherche de microorganismes autochtones : une double approche

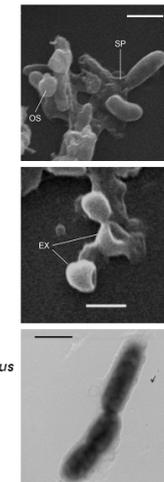
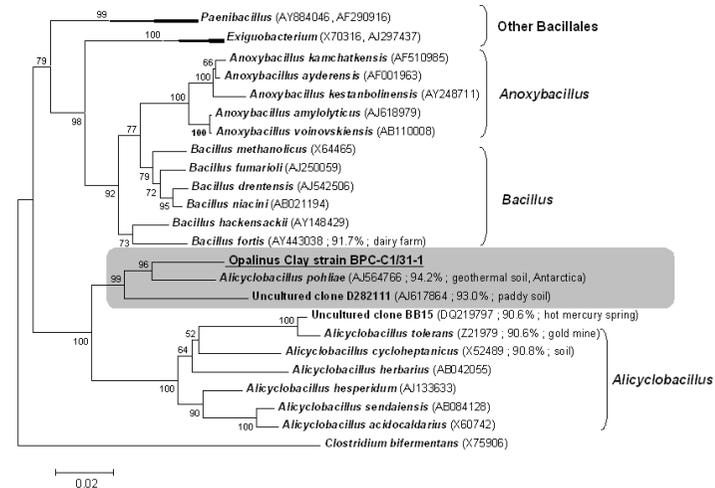


➔ mise en évidence et description de deux nouvelles espèces de bactéries cultivables dans l'argile du Mont Terri.



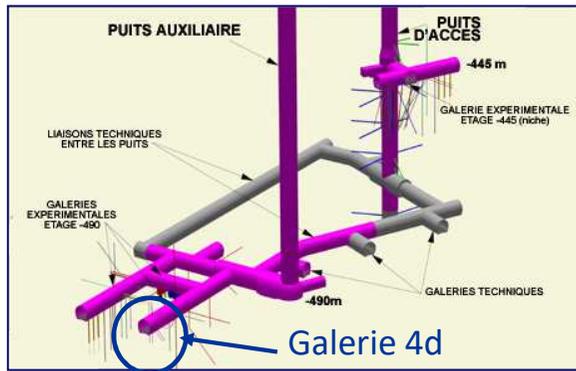
Aérobie, organotrophe, Gram⁻ alcalitolerante (pH 9,5), produit des EPS, bâtonnets irréguliers Proche de *Sphingomonas* sp.

Anaérobie, organotrophe, sporulante, alcali (pH 9,5) et thermotolérante, bâtonnets et spores. Très différente des souches décrites: à 94% proche de *Alicyclobacillus pohliae*

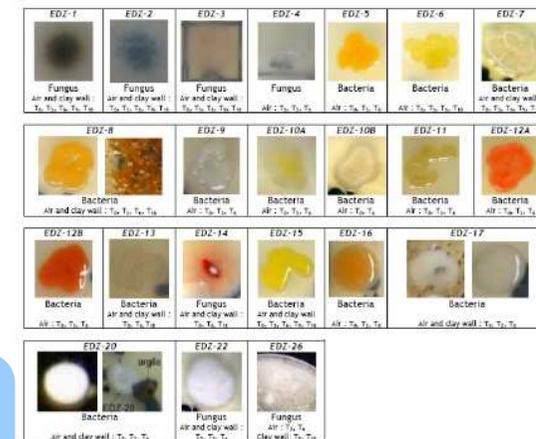


Caractérisation des microorganismes allochtones (apportés par le creusement du laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne)

FORPRO: Caractérisation EDZ: *Galerie 4d et fenêtres de grattage*



- Prélèvements d'argile de paroi à différents temps après excavation (T0, 3, 6, 9 et 18 mois)
⇒ Extractions d'ADN et cultures d'enrichissement



Suivi microbiologique de l'environnement souterrain de Meuse /Haute-Marne: **Collection de microorganismes allochtones intéressants**

Préalable à l'étude de l'impact des microorganismes sur la mobilité des radio-éléments: inventaire des bactéries autochtones des sites environnementaux

2003-2008: Milieux argileux

2008-2014: Site contaminé (Tchernobyl – Ukraine) –
GNR TRASSE

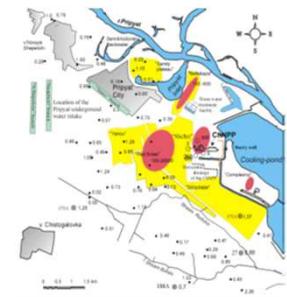
Etude multidisciplinaire des transferts de RNs à partir de la tranchée contaminée T-22 sur le site IRSN – Instituts ukrainiens (IUAR – IGS)
Collaboration IRSN LRE et CEA/CNRS LIPM Cadarache

Site expérimental entretenu depuis 1999: existence d'un faible flux d'eau vertical de l'aquifère superficiel vers l'aquifère profond et fuite en ^{90}Sr

Principaux facteurs influençant le transport des RNs:

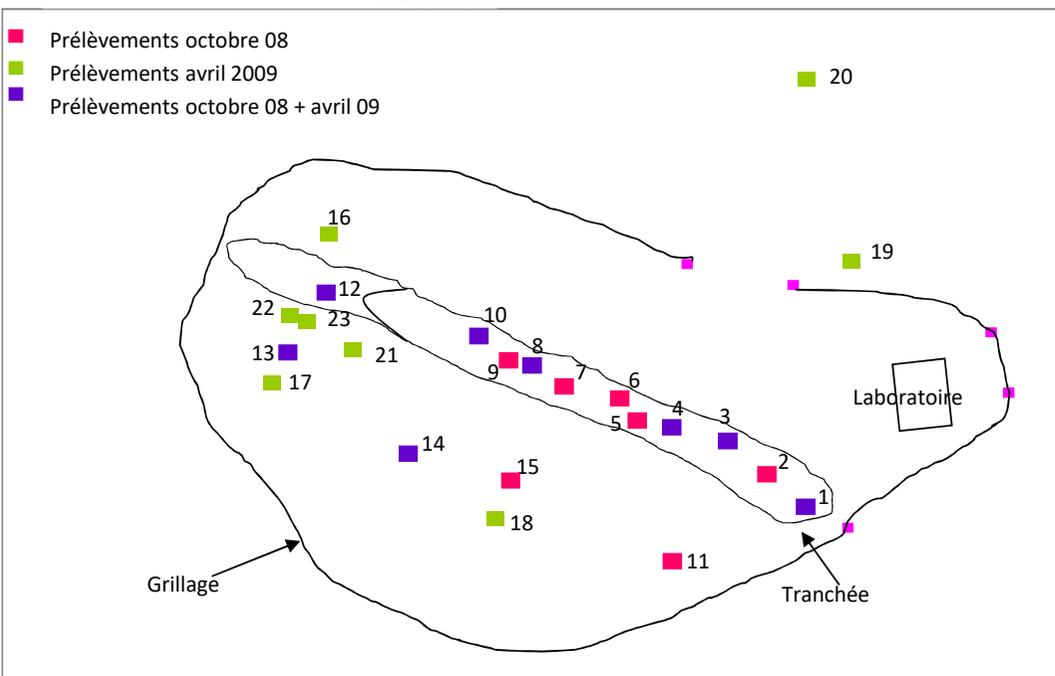
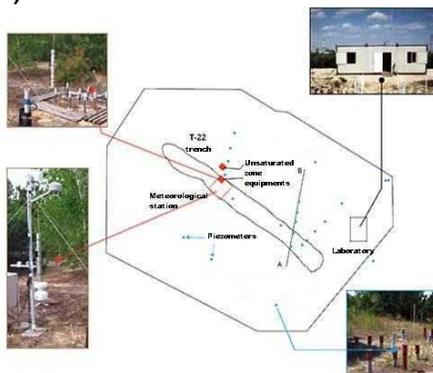
- vitesse de dissolution des particules de combustible irradié
- diffusion et dispersion des RNs
- interactions des RNs avec le sol, avec les microorganismes qu'il contient

➔ **Inventaire bactérien d'échantillons de sols de la tranchée et hors tranchée, préalable à l'étude de leur rôle sur le transfert des RNs**



Participation à quatre campagnes de prélèvement de sols sur le terrain : entre octobre 2008 et septembre 2010

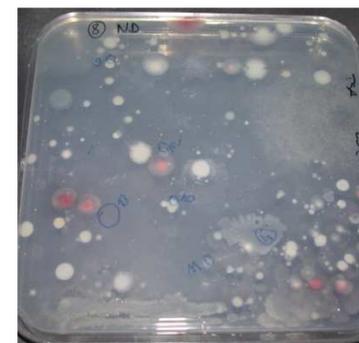
Echantillons de sols: 6 dans la tranchée, 3 en dehors de la tranchée
 Expériences effectuées sur place: extraction d'ADN, mise en culture



Approche culturale : bactéries cultivables aérobies, sporulées et anaérobies



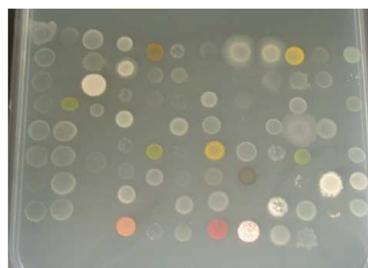
Incubation 15 jours à 30°C
en aérobiose.



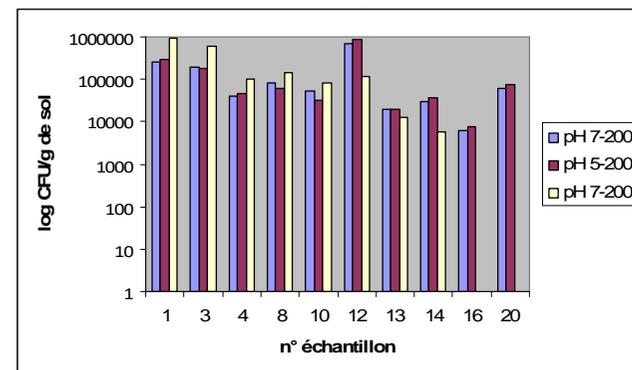
A Tchernobyl : étalement sur 2 milieux de culture généralistes (A Bordeaux sur 16 éch. et à Cadarache sur 25 éch.)

Isolement en cultures pures

Dénombrement

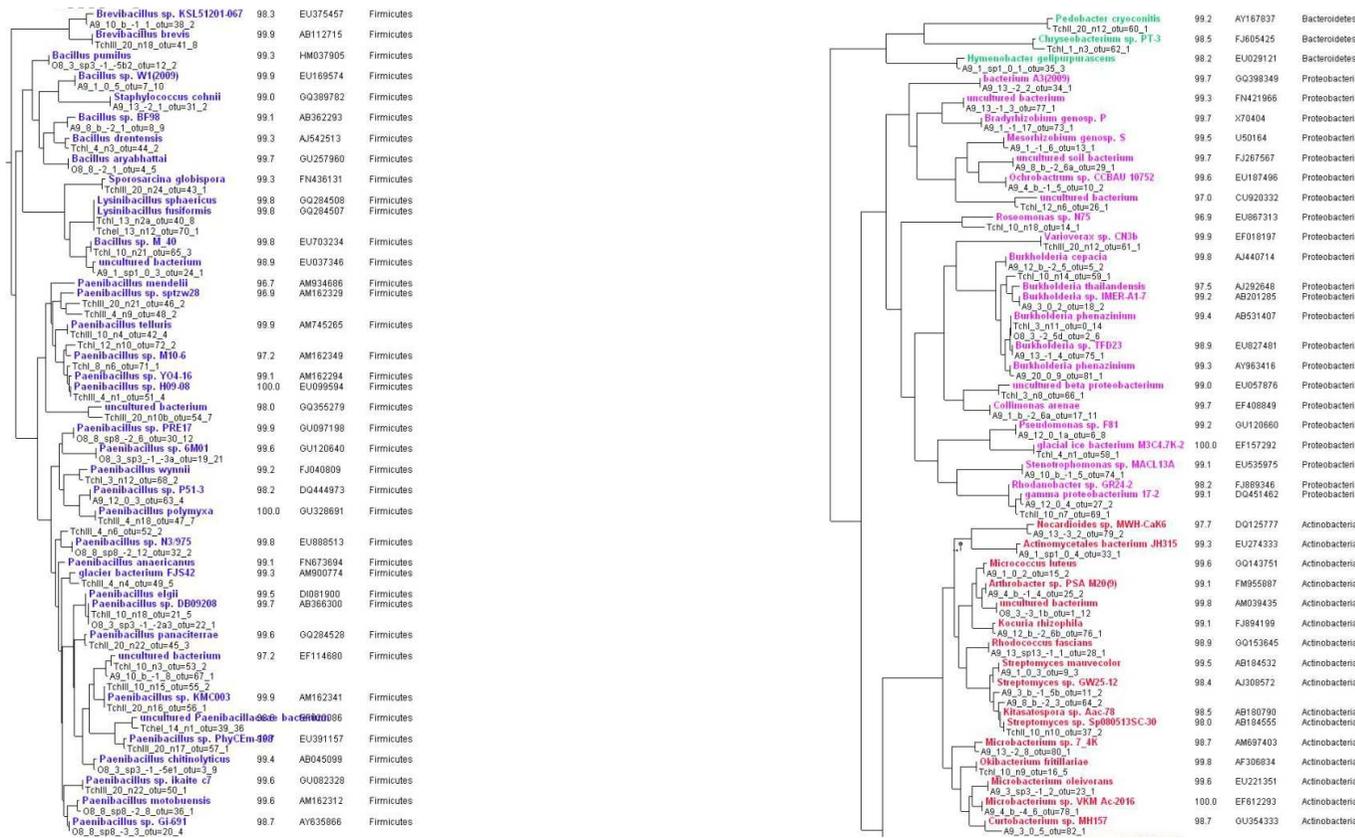


>130 isolats à Bordeaux
>200 isolats à Cadarache



Homogénéité entre
les 2 premières
campagnes

Approche culturelle : séquençage du gène codant pour l'ARNr 16S et affiliation taxonomique

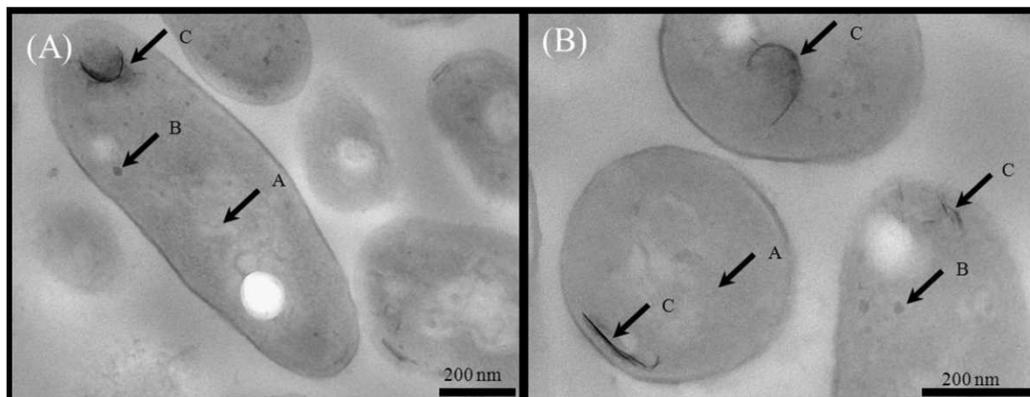


Les résultats obtenus à Bordeaux et à Cadarache sont cohérents : la collection est dominée par les **Firmicutes**, des espèces connues pour leur capacité à former des endospores et à se développer dans des environnements extrêmes. **Souchothèque importante constituée et partagée entre les deux laboratoires.**

Publication des résultats dans J. Applied Geochemistry, 2012

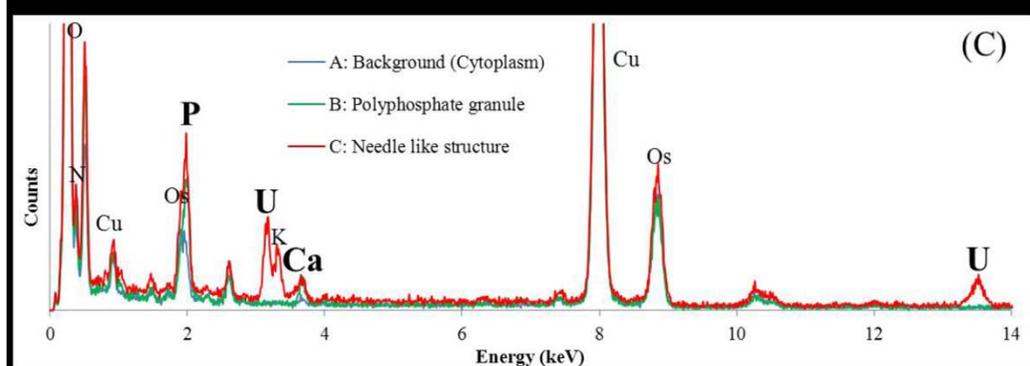
2010-2013: étude de leur rôle sur le transfert des RNs (U, Cs) par sorption ou accumulation

N. Théodorakopoulos: Thèse IRSN/région PACA à Cadarache, co-direction C. Berthomieu, LIPM et C. Sergeant, CENBG



Microbacterium oleivorans A9
Cristaux d'uranium intracellulaires

Images MET après 24h d'exposition à 50µM de nitrate d'uranyle à 25°C.



Spectres de l'analyse EDX:
A (contrôle dans la cellule), B (structures riches en Ca et Phosphate), C (structures en aiguilles).

- * La souche bactérienne développe plusieurs mécanismes de détoxification de l'uranium
- * **Un des mécanismes de détoxification est actif et met en jeu un efflux de l'U(VI) entré dans la cellule et une précipitation intracellulaire d'U(VI) sous forme minérale d'autunite $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{-}12 \text{H}_2\text{O}$.**

Plusieurs publications en 2015 et 2017

Préalable à l'étude de l'impact des microorganismes sur la mobilité des radio-éléments: inventaire des bactéries autochtones des sites environnementaux

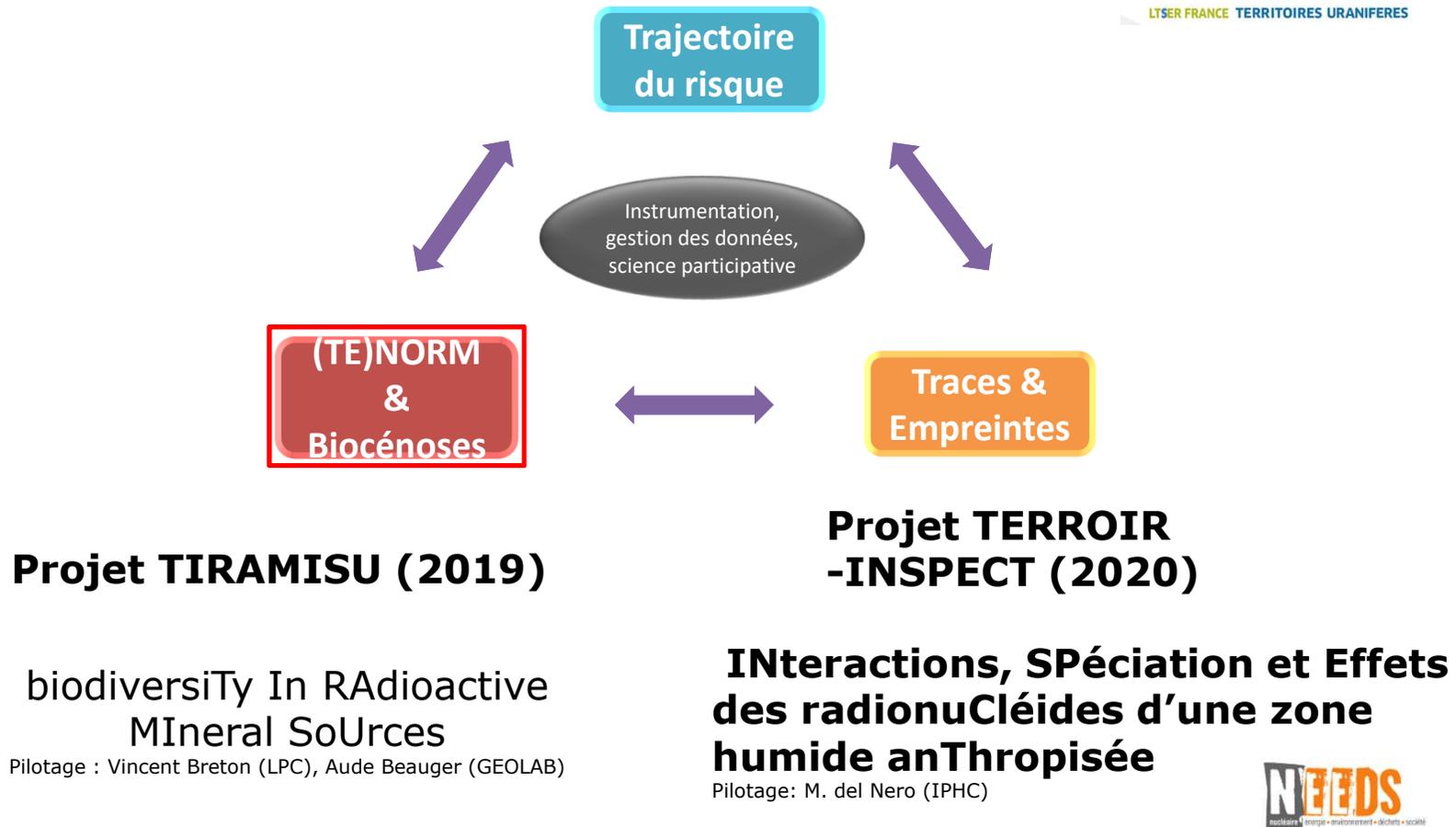
2003-2008: Milieux argileux

2008-2014: Site contaminé (Tchernobyl – Ukraine) – GNR TRASSE

Depuis 2015: sites environnementaux dans le cadre de la Zone-Atelier Territoires Uranifères

Objectif : Caractériser les environnements radioactifs d'origine naturelle ou naturellement renforcée

2015: création de la Zone Atelier Territoires Uranifères (ZATU) Et Structuration des recherches



Collaborations: LPC et LMGE Clermont, Subatech Nantes, IC Nice, IPHC Strasbourg; et depuis 2019 IRSN et CEA

Approfondir nos connaissances sur les effets de la radioactivité sur le fonctionnement des écosystèmes



Projet BioMi (2015-2016): financé par la MI(TI), dans la zone ICPE d'AREVA proche de l'ancienne mine de Rophin (63); premiers isolement de souches bactériennes de sols contaminés en uranium
=> **Les teneurs en RNs pas seuls éléments discriminants**



Projet Tremplin (2017-2019), dirigé par C. Mallet (LMGE Clermont), soutenu par NEEDS-Environnement et la ZATU

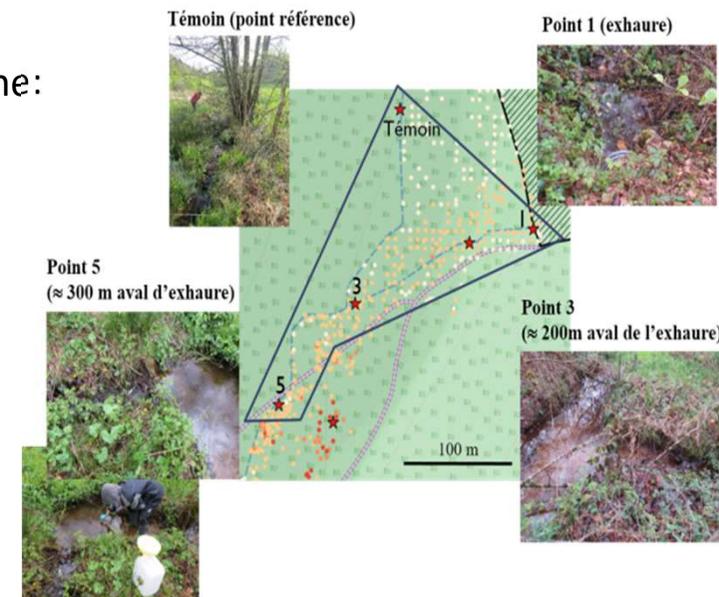
Collaboration LMGE, CENBG, LPC Clermont, Subatech Nantes, IC Nice

Etude du transfert et des impacts des radionucléides sur la diversité microbienne:

- Campagne de terrain à Rophin (Puy de Dôme) au printemps 2017
- Isolement d'une centaine de souches *aérobies et anaérobies* à partir de sédiments et d'eaux de ruisseaux contaminés
- ⇒ Métagénomique sur les mêmes échantillons pour explorer toute la diversité

Population bactérienne totale différente entre la zone témoin et les sédiments contaminés en uranium

⇒ En cours, l'analyse statistique complète permettant de déterminer l'influence des paramètres physico-chimiques sur la diversité bactérienne

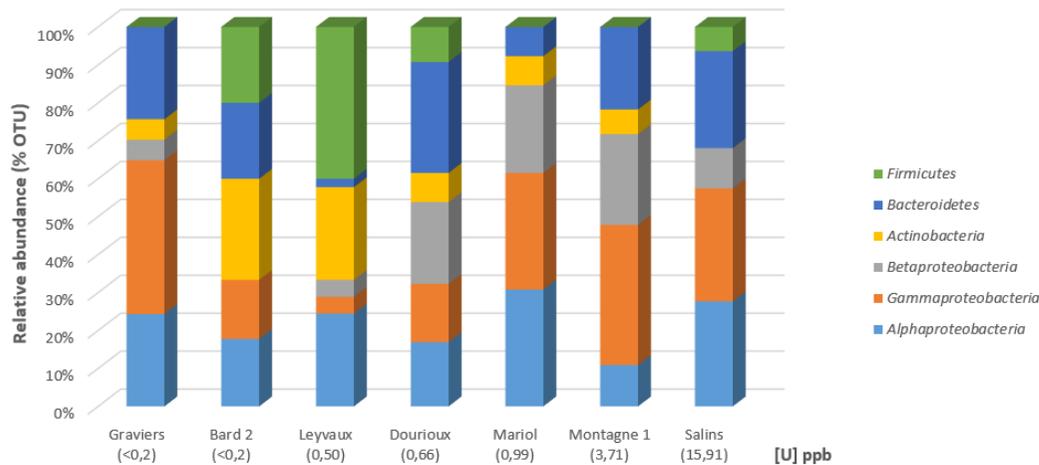


Thèse Guillaume Holub (2019-2022): « Impact de la radioactivité **naturelle et anthropique** sur les communautés de microorganismes dans des hydrosystèmes »

Projet TIRAMISU: 4 thèses en parallèle
(LPC, Subatech, Geolab, CENBG)



Echantillonnage de 7 sources minérales en Auvergne; mise en culture, isolement, extraction d'ADN, PCR et identification de 625 souches bactériennes (295 OTUs)



Mariol



Gravieres



Dourieux

Proteobacteria majoritaires

Présence d'OTUs connues pour la résistance à la radioactivité/métaux ou uranium:

Chryseobacterium sp., *Bacillus thuringiensis*, *Pseudomonas stutzeri*, *Microbacterium*, ...

⇒ **tests en cours de la résistance à U d'un choix de souches**

⇒ **A venir: étude de leur métabolisme et recherche de gènes impliqués dans la tolérance/résistance à l'uranium**

Projet INSPECT (Interactions, SPéciation et Effets des radionuCléides d'une zone humide antThropisée), projet fédérateur multidisciplinaire soutenu par l'IN2P3 au sein du **défi NEEDS pour trois ans (2020-2023)**, s'intéresse au devenir des radioéléments dans la zone environnant l'ancienne mine d'uranium de Rophin (Puy de Dôme).

Forage de sol dans la zone humide proche de la mine de Rophin en juin 2021 (décalée d'un an à cause de la Covid-19)



Zone blanche très riche en uranium, jusqu'à 2mg/g

LP2i Bordeaux: 5 horizons prélevés pour la mise en culture des bactéries aérobie et anaérobie (horizons H2; H3-1; H3-2; H3-3 et H4)

2 milieux de culture aérobie utilisés

Isolement et identification des espèces bactériennes présentes par analyse de la séquence d'ARNr 16S en cours (plusieurs centaines de souches)

6. Conclusions

- Très **grande expérience de l'équipe** dans l'isolement et l'identification de souches bactériennes issues de milieux environnementaux plus ou moins contaminés en radionucléides (eaux, sols, sédiments, argiles, biofilms,...)
- Tous les environnements particuliers que nous avons étudiés, y compris ceux contenant des radionucléides, contiennent une **grande diversité de bactéries**, dont **certaines sont connues pour être radiorésistantes**.
- Ces bactéries peuvent **interagir avec les radioéléments** et ainsi **les immobiliser** en les faisant précipiter, **ou au contraire accroître leur mobilité**
=> Grande importance de considérer ce compartiment bactérien dans les études environnementales
- **Immense souchothèque** d'espèces plus ou moins **radiorésistantes** au laboratoire, nécessitant des études approfondies des mécanismes d'interaction bactérie/élément.

Merci à tous les participants à ces études



M. H. Vesvres, IE

S. Poulain, thèse (2003-2006)

S. Nèble, post-doc (2007- 2008)

V. Barsotti, thèse (2007-2011)

N. Théodorakopoulos, thèse (2010-2013)

G. Holub, thèse (2019-2022)

A. Williamson, post-doc (2019-2022)

Tous les stagiaires de L3, M1 et M2 de l'équipe

L. Mathieu, coordinateur du projet DEMAIN

Mes collègues du groupe de travail DEMAIN

Tous mes collaborateurs des différents laboratoires du CNRS et d'autres organismes français et étrangers (ANDRA, NAGRA, Mont Terri Project, IUAR, IGS, IRSN, CEA, EDF)

De la ZATU:

Subatech: G. Montavon

IPHC: M. del Nero

LPC Clermont: V. Breton, P. Chardon

LMGE Clermont: C. Mallet, D. Biron

Géolab: A. Beauger

Et tous les financeurs: CNRS-IN2P3, INC et INEE (ZATU), MITI, NEEDS-Environnement, Université de Bordeaux, ANDRA, Mont Terri Project, EDF, ...

Et merci pour votre attention

