

### Introduction

Depuis peu, les modes de consommation n'ont eu pour cause que d'augmenter la demande énergétique mondiale. Face à ce besoin, l'énergie nucléaire s'est fortement développée dans certains pays. Elle permet en effet de produire une grande quantité d'énergie et ce sans émettre de CO<sub>2</sub>. La matière première nécessaire pour produire cette énergie est l'uranium, ce métal radioactif est exploité et traité afin de servir comme combustible. Cet élément présente cependant des risques pour l'environnement et son extraction peut engendrer une contamination des eaux. Face à cela, différentes solutions de traitement des sites pollués sont à l'étude, dont l'utilisation de bactéries. Ainsi, la séquestration de l'uranium par des biofilms est-elle viable et techniquement réalisable ?

### 1. État des connaissances

Parmi les techniques de traitement des sols pollués aux métaux lourds, on retrouve plusieurs types de méthodes ex-situ et in-situ. Les méthodes ex-situ comme le lavage avec agents chimiques (Arwidsson et al., 2010) ou les processus physiques tels que la flottation (Dermont et al., 2010) nécessitent l'excavation et la déstructuration des sols et la mise en place d'un chantier coûteux. Des études ont donc été menées afin de trouver des moyens de traitement in-situ. Parmi ceux-ci, on retrouve des méthodes physico-chimiques comme l'électrochimie (Virukyte et al., 2002) ou encore biologiques avec la phytoremédiation (Suchkova N et al., 2010) ou la biosorption (Andreazza R et al., 2010). Nous nous intéresserons ici à une technique de dépollution à l'aide de bactéries formant des biofilms (Manobala et al., 2019) qui semble être innovante et particulièrement prometteuse.

#### Qu'est-ce qu'un biofilm ?

Un biofilm est une matrice extracellulaire formée par des bactéries. Celles-ci forment des colonies à l'intérieur de ce biofilm et partagent des substrats, des produits métaboliques et peuvent ensemble dégrader ou séquestrer de nombreux produits toxiques. Les biofilms sont donc extrêmement résistants et divers, leurs capacités à agir sur différentes substances vont en partie dépendre des bactéries qui les composent.

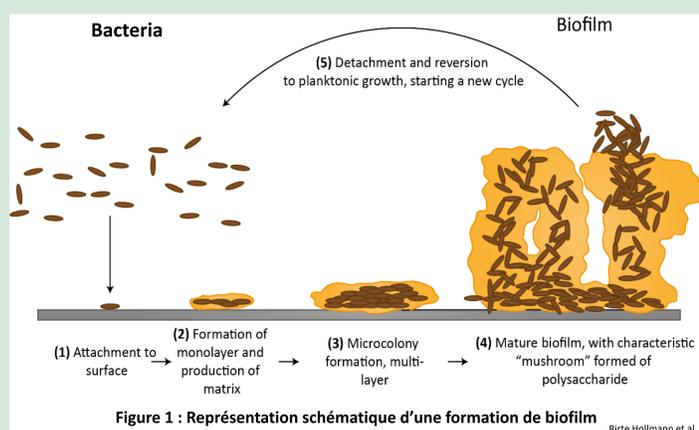
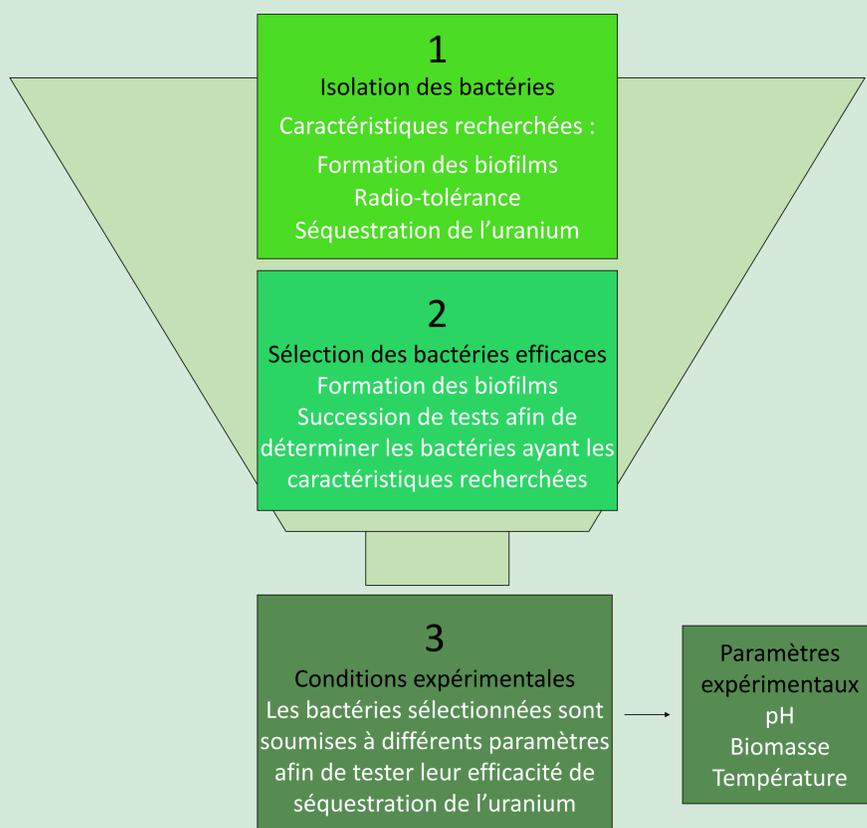


Figure 1 : Représentation schématique d'une formation de biofilm

### Comment former un biofilm capable de séquestrer l'Uranium ?

### 2. Matériel et méthode

Pour réaliser cette étude, les scientifiques ont recherché des bactéries présentes dans un milieu naturellement stressé : des sédiments marins de la région côtière d'une centrale nucléaire de Kudankulam. En effet, les bactéries évoluant dans un milieu naturellement stressé possèdent en général des capacités métaboliques polyvalentes permettant de s'adapter facilement à des milieux pollués aux métaux lourds (Mukherjee et al., 2019). La méthode suivie pour ces expériences repose sur un principe de **sélection en entonnoir** :



### 3. Présentation des résultats

- Sélection de 13 isolats bactériens ayant les caractéristiques recherchées, nommés de MS-1 à MS-13
- Test de résistance des bactéries à différents paramètres et sélections en entonnoir

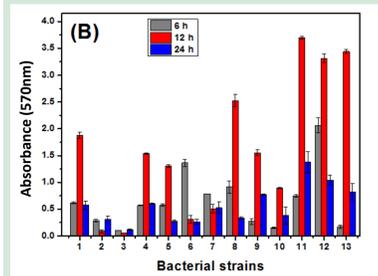


Figure 2 : Taux de croissance des biofilms à 6, 12 et 24h

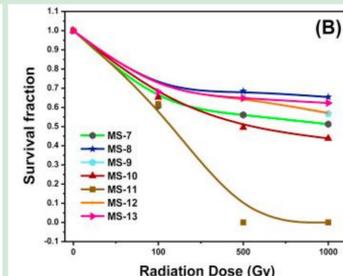


Figure 3 : Taux de survie des bactéries en fonction de la dose d'irradiation

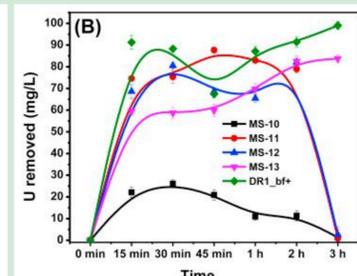


Figure 4 : Taux de séquestration de l'uranium en fonction du temps d'exposition

Isolats bactériens sélectionnés ayant obtenu les meilleurs résultats et répondant le mieux à la formation de biofilm, à la radio tolérance et à la séquestration de l'uranium : **MS-8, MS-11 et MS-13.**

- Mise en conditions expérimentales des bactéries sélectionnées

Temps d'exposition : **1h**, nitrate d'uranyle : **UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>**, isolats bactérien : **MS-8, MS-11 et MS-13.**

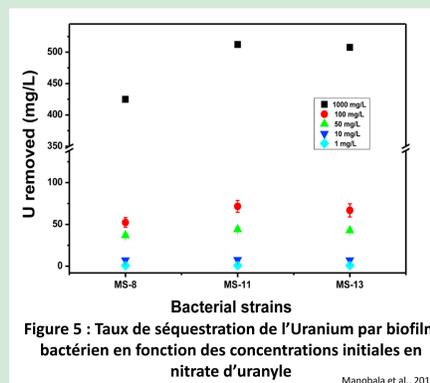


Figure 5 : Taux de séquestration de l'Uranium par biofilm bactérien en fonction des concentrations initiales en nitrate d'uranyle

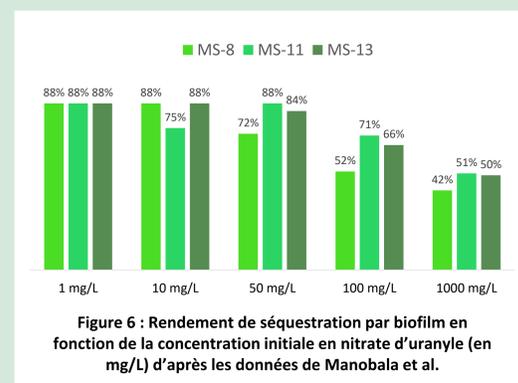


Figure 6 : Rendement de séquestration par biofilm en fonction de la concentration initiale en nitrate d'uranyle (en mg/L) d'après les données de Manobala et al.

#### Recherche du mécanisme de séquestration de l'uranium :

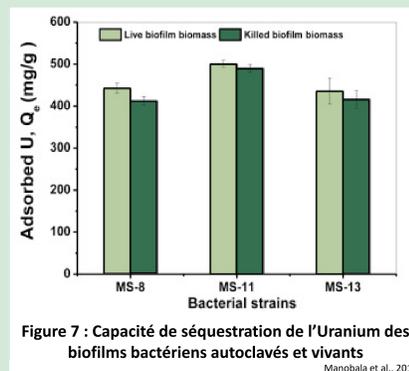


Figure 7 : Capacité de séquestration de l'Uranium des biofilms bactériens autoclavés et vivants

Temps d'exposition : **1h**.  
Nitrate d'Uranyle : **UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (100 mg/L)**.  
Isolats bactériens : **MS-8, MS-11 et MS-13.**

Caractéristiques des biofilms bactériens autoclavés : **cellules mortes et enzymes désactivées** (inhibent les processus d'absorption, de biominéralisation et de bioaccumulation)

La séquestration de l'uranium est sensiblement la même pour les isolats autoclavés et non autoclavés. Mise en évidence du mécanisme responsable : **l'adsorption.**

### 4. Avantages et inconvénients

- Préservation des milieux
  - Technique in-situ
  - Nombreuses bactéries disponibles
  - Pas de séparation déchets/biofilm
  - Confinement de la radioactivité
- Pas de retour sur le long terme de la capacité de rétention de l'uranium
  - Influence des paramètres physico-chimiques du milieu
  - Pas d'étude sur la sélectivité des bactéries

### Conclusion

Le traitement des eaux polluées aux métaux lourds et/ou aux radionucléides sont des sujets d'actualité qui sont de plus en plus étudiés. En effet, l'industrialisation ou encore l'exploitation de mines d'uranium dans certains pays occasionnent des rejets et posent souvent problème pour l'environnement. De nombreuses méthodes de traitement voient le jour mais sont souvent coûteuses et difficiles à mettre en place, comme les traitements par flottation ou les lavages avec agents chimiques. La méthode biologique présentée ici permet de ne pas déstructurer le milieu pollué et semble particulièrement efficace. L'insertion de biofilms dans les milieux aqueux pollués tels que les zones minières, permettrait de fixer et de concentrer l'uranium. Ces biofilms pourraient ensuite être séchés et compactés afin de confiner la radioactivité. Cependant, et afin d'adapter cette étude aux milieux naturels, des recherches supplémentaires sur la sélectivité des espèces ioniques des bactéries restent nécessaires.

### Bibliographie

Andreazza, R., Pieniz, S., Wolf, L., Lee, M.-K., Camargo, F.A.O., Okeke, B.C., 2010. Characterization of copper bioreduction and biosorption by a highly copper resistant bacterium isolated from copper-contaminated vineyard soil. *Science of The Total Environment* 408, 1501–1507. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.12.017>

Arwidsson, Z., Elgh-Dalgren, K., von Kronhelm, T., Sjöberg, R., Allard, B., van Hees, P., 2010. Remediation of heavy metal contaminated soil washing residues with amino polycarboxylic acids. *Journal of Hazardous Materials* 173, 697–704. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.141>

Boudenne, J.-L., 2011. Technologies avancées de remédiation in situ des sols pollués par les métaux lourds 5.

Chapon V., 2019. Interaction bactéries-métaux et radionucléides

Dermont, G., Bergeron, M., Richer-Lafleche, M., Mercier, G., 2010. Remediation of metal-contaminated urban soil using flotation technique. *Science of The Total Environment* 408, 1199–1211. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.11.036>

Manobala, T., Shukla, S.K., Rao, T.S., Kumar, M.D., 2019. Uranium sequestration by biofilm-forming bacteria isolated from marine sediment collected from Southern coastal region of India. *International Biodeterioration & Biodegradation* 145, 104809. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.104809>

Mukherjee, A., Yadav, R., Marmesse, R., Fraissinet-Tachet, L., Reddy, M.S., 2019. Detoxification of toxic heavy metals by serine protease inhibitor isolated from polluted soil. *International Biodeterioration & Biodegradation* 143, 104718. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.104718>

Vasudevan, R., 2014. Biofilms: Microbial Cities of Scientific Significance. *JMEN* 1. <https://doi.org/10.15406/jmen.2014.01.00014>