

DEMETERRES ou comment soigner la terre par les plantes

Davut Avci

Master Risques Environnementaux et Sûreté Nucléaire

Introduction

Au travers des divers essais et accidents nucléaires, le relargage de césium radioactif dans l'atmosphère a causé l'accumulation de celui-ci. Les épisodes de précipitations ont engendré la retombée des radionucléides dans l'environnement et ainsi une dissémination dans les couches superficielles du sol et l'eau, pouvant contaminer les productions agricoles. C'est ainsi le scénario suivi par l'accident de Fukushima, engendrant le rejet de 58 PBq de césium radioactif dont 21 PBq en ^{137}Cs avec une contamination surfacique de quelques dizaines de kBq à plusieurs dizaines de MBq.

Suite à cet accident, le CEA met en place un projet nommé DEMETERRES ayant pour objectif la captation du césium par les plantes : la phytoremédiation.

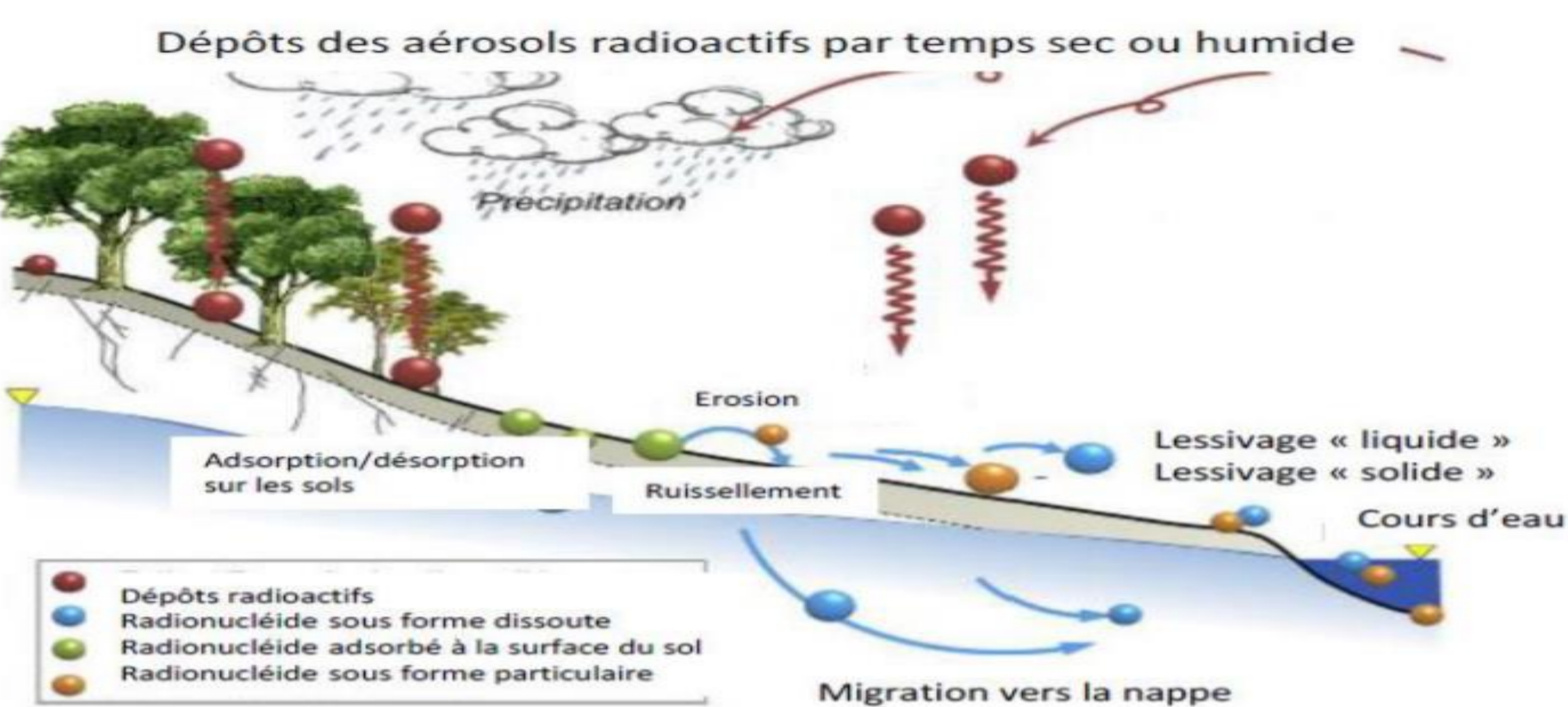


Figure 1 Schéma des mécanismes de dispersion des radionucléides dans l'environnement suite à un accident nucléaire. Adapté de Mori et al. (2015)

Nécessité de piéger le ^{137}Cs

Le césium radioactif se substitue au potassium, qui est un nutriment essentiel pour les plantes. Ainsi, lors d'une ingestion, le césium se fixe dans les endroits riches en potassium c'est-à-dire le système musculaire et nerveux, entraînant alors divers mécanismes d'altération génétiques ou cellulaires. L'extraction du césium du sol est nécessaire pour garantir la sécurité alimentaire et sanitaire.

Etude des systèmes de transport du Cs chez les plantes

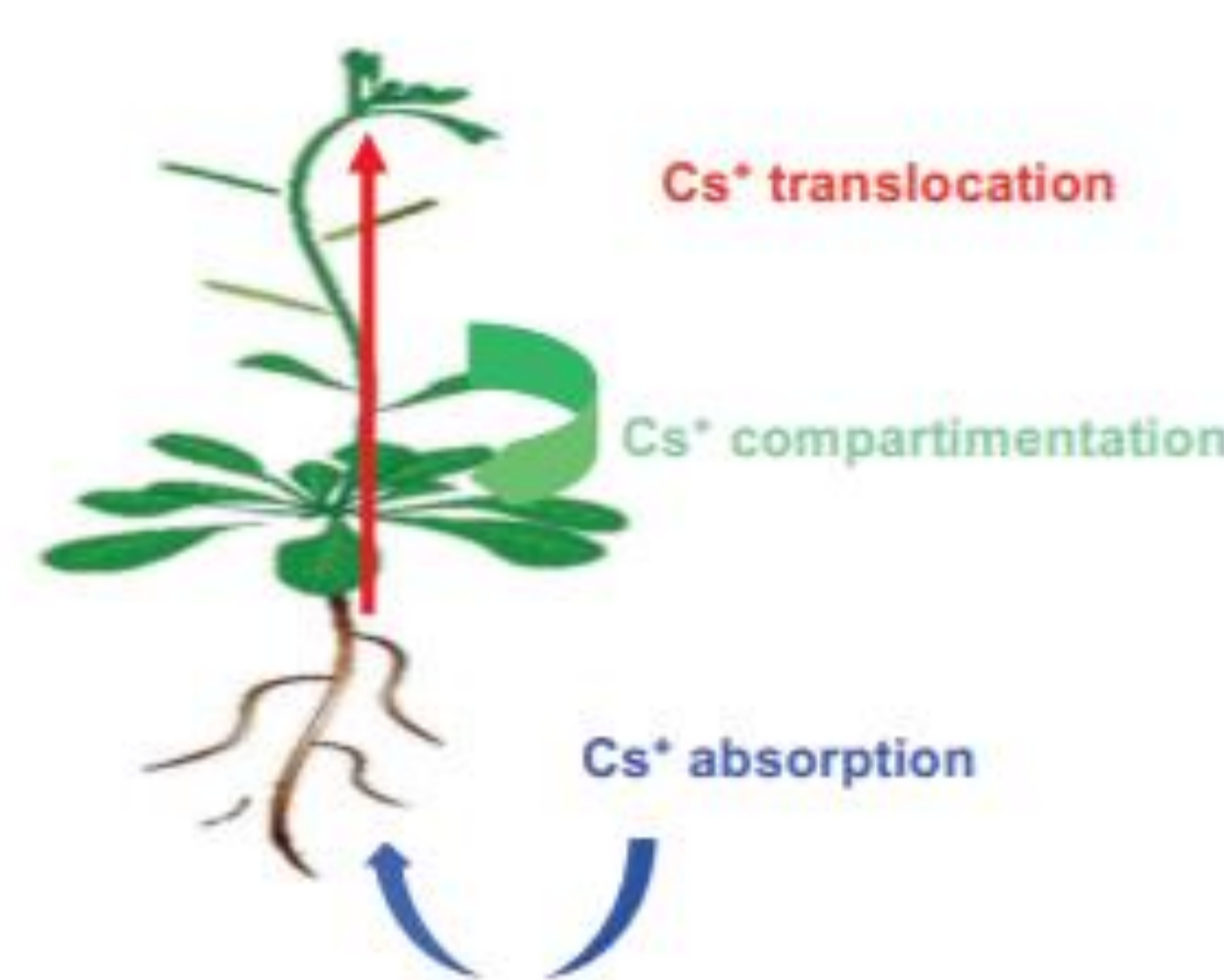
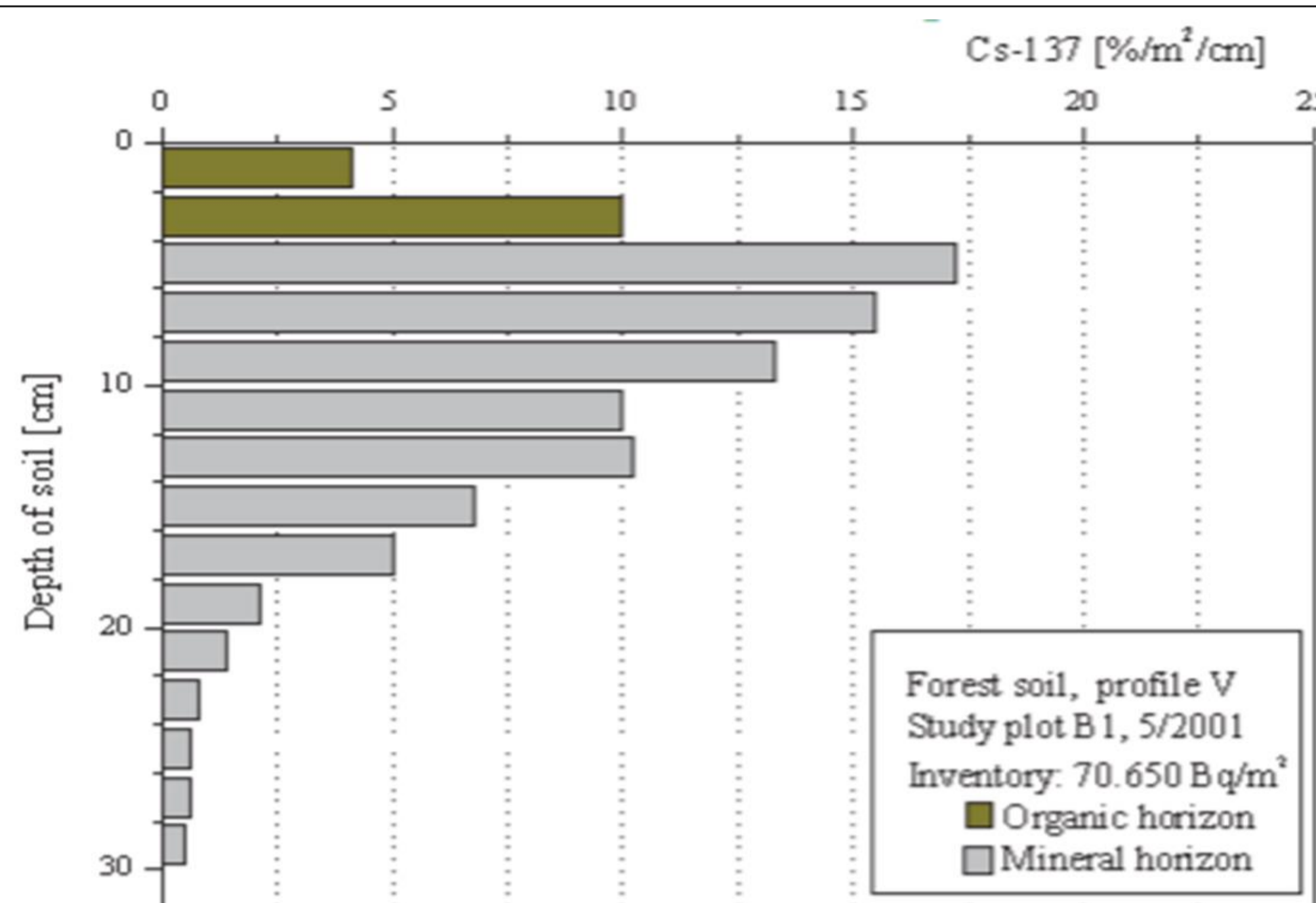


Figure 2 : L'Arabidopsis Thaliana

Choix de la plante

- Plante : Arabidopsis Thaliana.
- Génétiquement transformées (gènes en rapport avec le potassium) : augmenter sa capacité à absorber, transloquer et accumuler le Cs.
- Bien étudiée en laboratoire : génome court séquencé et modifiable aisément
- Réalisation : 3 à 4 essais par an, cycle de vie court
- Système racinaire : surface énorme d'absorption des nutriments

Figure 3 : Pénétration du Cs-137 dans le sol



Pénétration du ^{137}Cs dans le sol

La pénétration du césium radioactif et de son transfert dépend de plusieurs facteurs :

- la nature du sol (argile, limon, calcaire ...)
- pH
- la concentration en cation
- la présence de matière organique

Comme le démontre le diagramme, le césium se concentre en général dans les 10 premiers centimètres sous la surface du sol. (Fig 3)

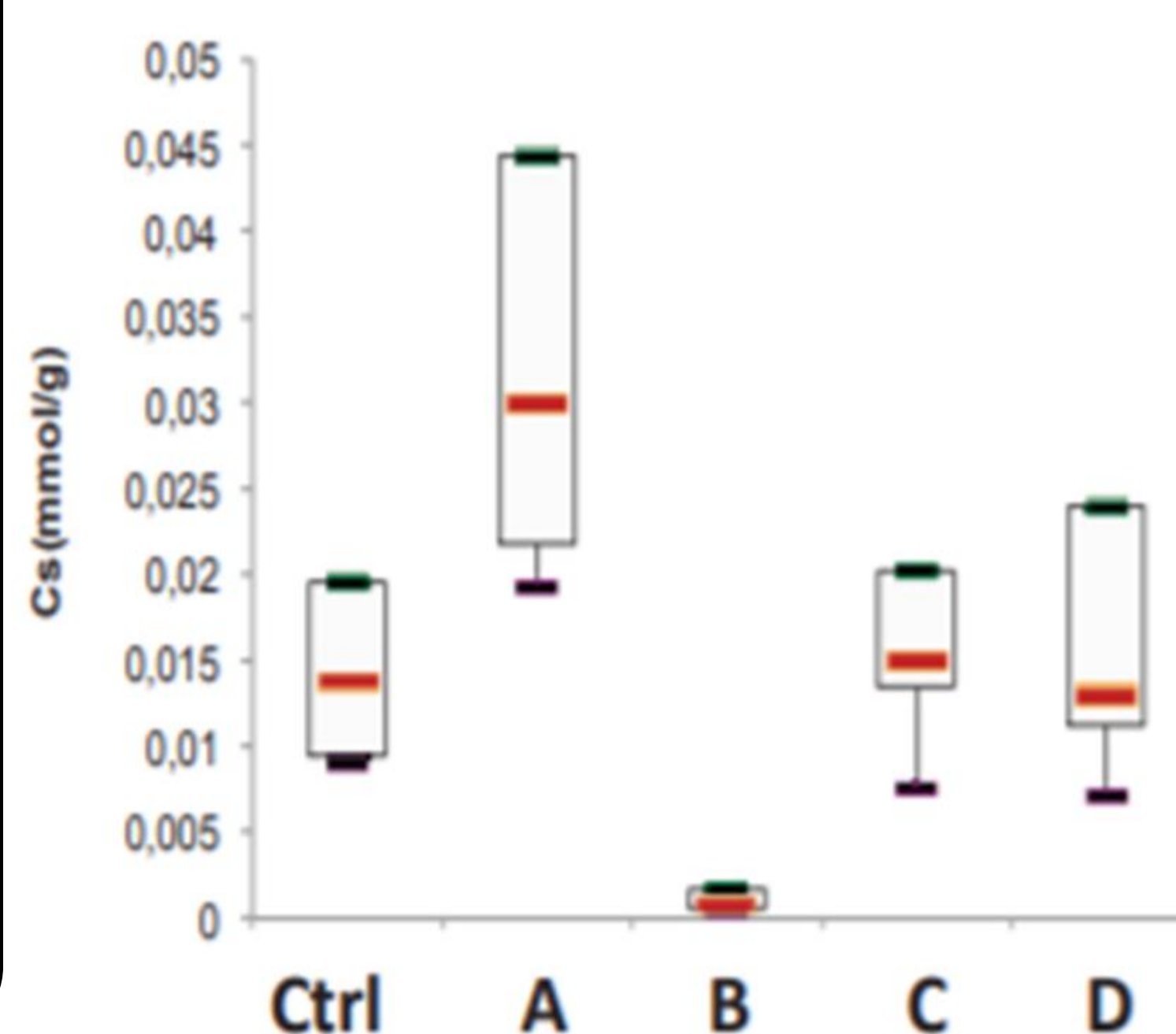
Expérimentation et résultats

Les travaux ont permis la caractérisation de l'absorption, la translocation et l'accumulation à l'aide des sols contaminés de la zone de Fukushima et de substrats artificiels à base de perlite qui imite l'argile et nutriments en laboratoire. Des tests menés sur différentes lignées génétiques de l'Arabidopsis Thaliana (A,B,C,D fig 4) ont permis de déterminer la plante ayant les meilleures performances en termes d'absorption et d'accumulation du Cs (Lignée A).

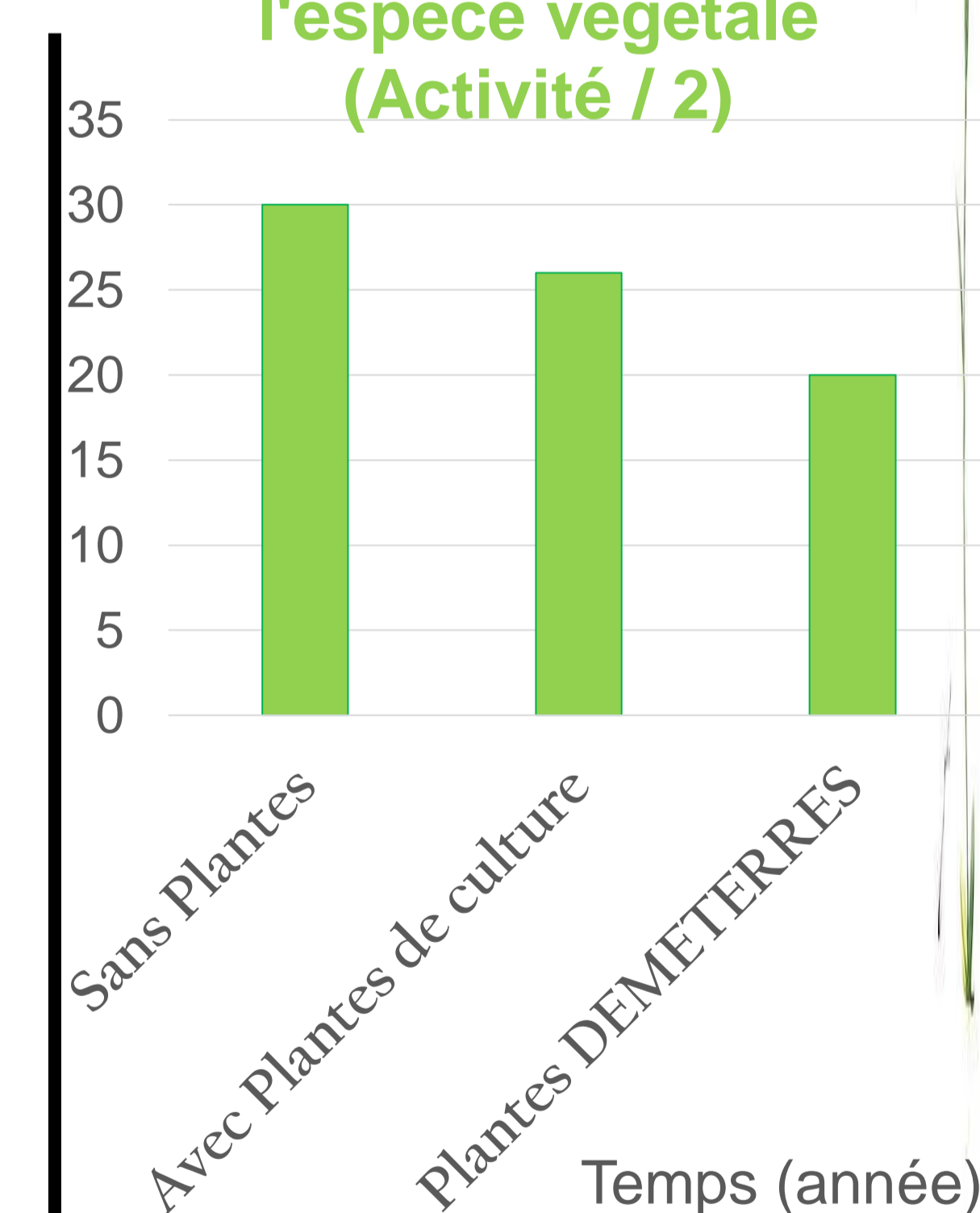
Après la phase de sélection du variant le plus performant, le mutant permet d'absorber deux fois plus de Cs que la concentration initiale prévue (Δ entre Ctrl à 0,015 mmol/g et lignée A à 0,03 mmol/g). Le taux de transfert du césium vers l'Arabidopsis Thaliana (mutant) est de l'ordre de 0,07 à 0,2 Bq/Kg.

Enfin, après récolte la plante est incinérée pour la production d'énergie. Le Cs est capté par un filtre et les cendres serviront d'engrais.

Fig 4 Contenu en Cs dans les feuilles des différentes lignées disponibles



Temps de dépollution du sol en fonction de l'espèce végétale (Activité / 2)



Conclusion

Le projet a abouti fin 2021 avec des résultats plus qu'attendu. L'Arabidopsis Thaliana a comme avantage un impact mineur sur l'environnement donc une technique « verte », la possibilité d'assainir de grandes surfaces mais aussi d'avoir un coût faible vis-à-vis d'autres techniques de dépollutions. D'autres recherches sont prévues pour améliorer et transposer cette technique sur d'autres plantes → DEMETERRES 2 avec un objectif de décontamination en 16 ans, à suivre ...

Sources

-CEA, 2017. Nathalie Leonhard : la phytoremédiation [WWW Document]. CEA/Espace Enseignants. URL <https://www.cea.fr/comprendre/enseignants/Pages/metiers-recherche/videos-metiers/savanturiers-metiers-phytoremediation.aspx> (accessed 11.10.21)
 -Chagvardieff, P., Barré, Y., Blin, V., Faure, S., Fournier, A., Grange, D., Grandjean, A., Guiderdoni, E., Henner, P., Siroux, B., Leybros, A., Messalier, M., Paillard, H., Prévost, T., Rennesson, M., Sarrobert, C., Vavasseur, A., Véry, A.-A., 2017. DEMETERRES project: development of innovative technologies for removing radionuclides from contaminated solid and liquid matrices. EPJ Web Conf. 153, 05026. <https://doi.org/10.1051/epjconf/201715305026>
 -Genies, L., Orjollet, D., Carasco, L., Camilleri, V., Frelon, S., Vavasseur, A., Leonhardt, N., Henner, P., 2017. Uptake and translocation of cesium by Arabidopsis thaliana in hydroponics conditions: Links between kinetics and molecular mechanisms. Environmental and Experimental Botany 138, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.03.013>
 CEA_SAVANTURIERS_21_simple.pdf - IRSN_Fukushima_Synthese-Environnement_28022012.pdf, 2012 - seminaire-200212-n-leonhardt-2.pdf, 2020 - Siroux, B., 2017. Interactions dans un système césium, strontium/matière organique naturelle/argiles des sols. De la décontamination à la remédiation 183.