



## Doctorat ParisTech

# THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

**L'Institut des Sciences et Industries  
du Vivant et de l'Environnement**

**(AgroParisTech)**

**Spécialité : Biologie Végétale**

*présentée et soutenue publiquement par*

**Julien LAURETTE**

Le 15 mars 2011

## **ROLE DE LA SPECIATION DE L'URANIUM SUR SA BIOACCUMULATION, SON TRANSPORT ET SA TOXICITE DANS LES PLANTES. APPLICATION A LA PHYTOREMEDIATION.**

Directeur de thèse : **Jacques BOURGUIGNON**

Co-encadrement de la thèse : **Marie CARRIERE**

### **Jury**

**M. Sylvain CHAILLOU**, Professeur, AgroParisTech  
**M. David MACHEREL**, Professeur, Université d'Angers  
**M. Richard ORTEGA**, Directeur de Recherche, Université de Bordeaux  
**Mme Laureline FEVRIER**, Docteur, IRSN Cadarache  
**Mme. Marie CARRIERE**, Docteur, CEA Saclay, Ecole  
**M. Jacques BOURGUIGNON**, Directeur de Recherche, CEA Grenoble

Examinateur  
Rapporteur  
Rapporteur  
Examinateur  
Encadrante  
Directeur de thèse

# Résumé

L'uranium, toxique chimique et radiologique, est retrouvé naturellement dans l'environnement à l'état de trace. L'accumulation des métaux et leur distribution dans les plantes est modulée par leur spéciation. Le but de cette thèse a donc été d'étudier l'accumulation, la répartition *intra planta* et la toxicité de l'uranium en réponse à sa spéciation en solution. Les connaissances acquises pourront être appliquées dans les processus de phytoremediation.

Nous avons exposé trois espèces végétales (le tournesol, le colza et le blé) dans une gamme de milieux hydroponiques contenant une ou deux formes chimiques prédominantes de l'uranium. Après exposition dans ces milieux contaminés, nous avons évalué les contenus en uranium dans les organes des plantes par ICP-MS. Afin de visualiser la répartition et la localisation de l'uranium à l'échelle de l'organe/tissu et à l'échelle cellulaire, nous avons mis en œuvre quatre techniques d'imagerie complémentaires. La répartition de l'uranium au sein des fractions solubles et membranaires des racines et parties aériennes a été évaluée après fractionnement et séparation sur colonne de chromatographie. En parallèle, la spéciation de l'uranium dans les milieux d'exposition et les plantes a été déterminée par spectroscopie d'absorption des rayons X. Finalement les effets toxiques de l'uranium sur la croissance et le métabolisme ont été évalués.

Nos résultats ont mis en évidence trois schémas d'accumulation en fonction de la spéciation de l'uranium dans le milieu d'exposition : lors d'une exposition à l'ion uranyle, l'accumulation racinaire est forte, mais le transfert aux parties aériennes est limité. L'uranium est immobilisé car adsorbé à la surface des racines ou précipités dans les parois cellulaires des cellules, associé au phosphore et au calcium. Nous suggérons également la présence de protéines capables de lier l'uranium. Lorsque l'uranium est complexé au phosphate, l'accumulation racinaire est considérablement réduite, et la translocation devient négligeable. L'uranium est précipité de la même manière que précédemment. En revanche, la complexation au citrate ou au carbonate réduit l'accumulation racinaire mais augmente fortement la translocation. Si quelques précipités de phosphate d'uranyle sont toujours retrouvés dans les racines et les parties aériennes, une proportion importante de l'uranium est associée avec des groupes carboxyles, fraction qui pourrait être la forme chimique de l'uranium transloquée des racines vers les parties aériennes. Enfin, nous avons constaté des différences entre espèces au niveau de l'accumulation et de la translocation.

**Mots clés : uranium, spéciation, transfert, phytoremédiation.**

# Abstract

Uranium is both a radiological and a chemical toxic, which naturally occurs in the environment as a trace element. Metal accumulation and distribution in plants is modulated by speciation. The aim of this PhD work was thus to assay uranium accumulation, *intra planta* repartition and toxicity according to its speciation in solution. Acquired knowledge will be applied in phytoremediation technologies.

We exposed three plant species (sunflower, oilseed rape and wheat) to a panel of hydroponic media containing one or two predominant uranium chemical forms. After exposition in these various contaminated media, we evaluated uranium content in plant organs by ICP-MS. In order to investigate uranium repartition and localization at organ/tissue and cellular scales, we carried out four complementary imaging techniques. The uranium repartition within soluble and membrane fractions in roots and shoot was assayed after fractionation and separation through a chromatography column. In parallel, we used X-ray absorption spectroscopy to determine the molecular-level structure of chemical species formed by uranium in exposure media and plant samples. Finally, we explored toxic effects of uranium on plant growth and metabolism.

Our results revealed three schema of accumulation according to the uranium speciation in the exposure medium: when exposed to  $\text{UO}_2^{2+}$  free ion, root accumulation is high, but uranium transfer to the shoots is limited. Uranium is immobilized by adsorption on root surface and precipitation on root cell walls, associated with phosphorus and calcium. The existence of uranium-binding proteins is also suggested. When complexed with phosphate, root accumulation is considerably reduced and translocation becomes negligible. Uranium is precipitated as described above. Conversely, complexation with carbonate or citrate reduces root accumulation but drastically increases translocation to the shoots. If some uranyl phosphate precipitates are still found in root and shoot, a significant proportion of uranium is associated with carboxyl groups; this fraction could be the uranium form transferred from the roots to shoots. Finally, we noticed among the 3 species differences in accumulation and in translocation.

**Keywords :** *uranium, speciation, transfer, phytoremediation.*