

CYCLE DE L'URANIUM AU SEIN DE LA VEGETATION PERENNE SUR UN SITE MINIER

Yves THIRY

Andra

Direction Scientifique et Technique (DISTEC), Service Environnement / Eaux de surface (EES), Centre de Meuse / Haute-Marne - Route départementale 960 - BP 9 - 55290 Bure

yves.thiry@andra.fr

Introduction

La réhabilitation *in situ* des sites miniers d'uranium impliquent souvent le reprofilage de versées de stériles uranifères et leur recouvrement par une couche de terre végétale. La couverture du sol peut ensuite être revégétée avec des graminées ou des arbres forestiers à des fins de stabilisation et d'esthétique. Sur ces anciens sites miniers, la minimisation à long terme du transport en phase liquide, par lessivage ou ruissellement, des radionucléides et toxiques chimiques est primordiale et dépend évidemment de la stabilité et de la durabilité de la couverture de sol revégétée. Grâce à sa biomasse élevée et à son caractère pérenne, la végétation forestière joue un rôle local important contre l'érosion des sols ainsi que dans la régulation des flux hydrologiques. En raison de la production élevée et du turnover de sa biomasse, la végétation forestière peut également absorber, stocker ou recycler une quantité considérable d'éléments par rapport à la réserve biodisponible du sol. Pour des peuplements forestiers se développant sur des résidus miniers uranifères, ces caractéristiques renvoient aux incidences que pourraient avoir la disponibilité des contaminants radioactifs (uranium, radium, thorium ...) pour les arbres et leur intégration au cycle biologique sur la redistribution de la radioactivité ainsi que sur la valorisation économique potentielle des produits forestiers.

Notre étude concerne le devenir de l'uranium dans un peuplement de pin sylvestre se développant sur des stériles uranifères. Malgré de nombreuses études sur la teneur en U de la végétation, il existe très peu d'informations concernant son absorption et son stockage par la végétation pérenne, en particulier par les peuplements forestiers établis sur des sites miniers réhabilités. Cette investigation a visé la détermination du transfert d'U vers les différents compartiments du pin sylvestre et la description quantitative de son cycle biologique en lien avec le turnover de la biomasse.

Description du site et de l'approche expérimentale

Le site d'étude concerne une plantation de pin sylvestre de 35 ans, établie sur le plateau d'une vaste versée de stériles uranifères située près de Schlema dans le Länders de Saxe, à l'Est de l'Allemagne, et gérée par Wismut GmbH (Figure 1).



Fig. 1. Vue panoramique de la verse de stériles uranifères sélectionnée pour l'étude

Les stériles stockés dans la verse dérivent d'un schiste micacé, siliceux et carbonaté (« phyllithe ») avec une teneur en U de 30-40 mg.kg⁻¹ mesurée dans la fraction 0-2 mm collectée à différentes profondeurs entre 0 et 30 cm (Thiry *et al.*, 2005). La distribution des circonférences des troncs d'arbre a été déterminée à partir d'une mesure systématique à 1,30 m pour tous les arbres situés dans le peuplement. Quatre arbres ont ensuite été sélectionnés dans la catégorie moyenne de circonférence et abattus. Lors de l'échantillonnage, une distinction a été faite entre les compartiments suivants : bois de tronc, écorce interne et externe, aiguilles de l'année et > 1 an, rameaux (1 an) et branches (> 1 an). Chaque compartiment a été caractérisé par sa biomasse à l'aide d'abaques appropriées pour le pin sylvestre, et par une concentration totale d'U mesurée par ICP-MS après minéralisation de sous-échantillons. Des bilans de masse pour l'U ont été établis à l'échelle du peuplement. La concentration moyenne en U dans chaque compartiment a aussi été utilisée en combinaison à une estimation de la production annuelle de biomasse pour décrire quantitativement le cycle biologique de l'U dans le peuplement sur base de plusieurs flux annuels essentiels, constitutifs du fonctionnement nutritionnel des peuplements forestiers : la demande, l'immobilisation, les retours au sol, le prélèvement racinaire et les transferts internes (Ranger *et al.*, 1997). Ces flux ont été intégrés dans un modèle de calcul pour simuler la redistribution probable de l'U sur toute la vie du peuplement.

Résultats et conclusions

Une comparaison entre la distribution relative de la biomasse et de l'U dans le peuplement de pin sylvestre est présentée à la Figure 2. Le feuillage agit comme un puits pour l'U bien que sa biomasse ne représente qu'une partie mineure de la biomasse sur pieds du peuplement. A l'opposé, le bois de tronc représente un compartiment prédominant où la biomasse ligneuse des arbres s'accumule avec le temps, mais seulement quelques pour cent de l'U de l'arbre est retenu dans ce compartiment. Cette répartition suggère que l'U est facilement transporté vers le feuillage via les flux de transpiration. Les parois cellulodiques du xylème du tronc réagissent peu avec l'U tout au long de son transport, très probablement à cause d'U présent sous forme de complexes solubles très stable dans la sève xylémique (Günther *et al.*, 2002). Après plusieurs décennies, l'U total incorporé dans la biomasse hors sol du peuplement s'élève à environ 4 g.ha⁻¹, ce qui est faible par rapport au niveau moyen d'U de la zone racinaire du sol (30 cm – 165.10³ g.ha⁻¹). Le système racinaire, et les racines fines en particulier, affichent des concentrations en U jusqu'à 100 fois plus élevées que celles du feuillage (données non présentées). Au total, le compartiment racinaire représente > 99 % de l'U présent dans l'arbre, et semble agir comme une barrière active pour limiter le transfert d'U.

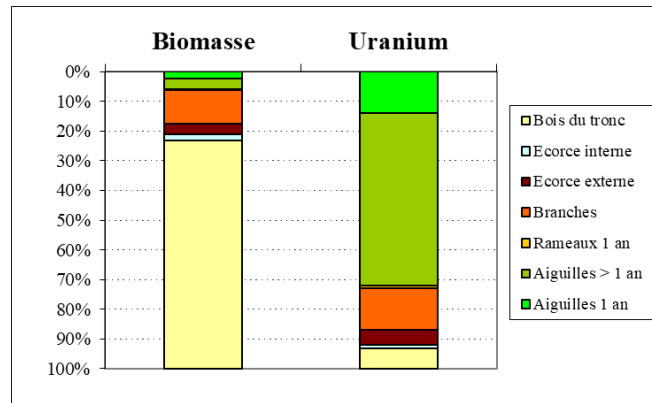


Fig. 2. Répartition de la biomasse et de l'uranium entre les compartiments du peuplement de pin sylvestre

Il n'y a pas de rôle connu pour l'U dans la nutrition des plantes. Ce paradigme est confirmé par une quantité extrêmement faible d'U associée à sa mobilisation pour la production annuelle de nouvelle biomasse du pin sylvestre (« demande » ; Tableau 1). Les transferts internes d'U, c'est-à-dire l'U transféré des organes sénescents pour soutenir une nouvelle production annuelle, présentent une valeur négative, correspondant à 74 % du prélèvement racinaire. Cela signifie que la majeure partie de l'U annuellement absorbé par le système racinaire ne participe pas à la production de biomasse mais s'accumule plutôt dans les organes sénescents, les aiguilles en particulier, qui agissent comme un pool de détoxification pour l'arbre. En conséquence, les chutes de litière (issues principalement du feuillage) restituent au sol 98 % du prélèvement racinaire de l'U. Le cycle de l'U au sein du peuplement de pin sylvestre est donc caractérisé par un turnover élevé de l'U et finalement par une immobilisation annuelle très limitée dans les organes ligneux pérennes (2 % du prélèvement racinaire).

Tableau 1. Description quantitative du cycle de l'uranium en termes de flux au sein du peuplement de pin sylvestre

Flux		g U.ha ⁻¹ .an ⁻¹
"Demande"	(a)	0,58
Retour (chute de litière)	(b)	2,90
Immobilisation	(c)	0,07
Prélèvement racinaire	(d)=(b)+(c)	2,97
Transferts internes	(e)	-2,20

Pour l'uranium naturel, la réglementation allemande (German Radiation Protection Ordinance, 2001) mentionnait en 2001 qu'une activité spécifique de 1 Bq.g⁻¹ (ou 40 mg U.g⁻¹ sur une base de poids équivalent) ou une quantité totale de 1000 Bq (ou 0,04 g sur une base de poids équivalent) sont les limites (« niveau d'exemption ») pour la manipulation sans autorisation de matières contenant de l'uranium. Dans nos conditions de site, le bois de pin sylvestre montre une teneur moyenne en U de 2 mg.kg⁻¹ ce qui est bien en dessous de la limite d'activité spécifique. Le risque de dissémination de l'U avec la récolte de la biomasse du tronc est aussi très faible. Nous avons estimé qu'avec une production annuelle moyenne de bois de 10 m³.ha⁻¹.an⁻¹ pour un tel peuplement, une récolte traditionnelle de bois (éclaircie comprise) consisterait, sur une période de 100 ans, en une exportation maximale d'U de 0,9 g.ha⁻¹ hors du site minier.

Références

German Radiation Protection Ordinance, 2001. Verordnung über den Schutz vor Schaden durch ionisierende Strahlung, Berlin, 20 July 2001. BGBL I, 1714 pp.

Günther, A., Bernhard, G., Geipel, G., Rossberg, A. and Reich, T., 2002. Uranium speciation in plants. In Merkel, B.J. et al. (Eds), Uranium in the aquatic environment, Proceedings of the International Conference Uranium Mining and Hydrogeology III and the International Mine Water Association Symposium, 15-21 September 2002, Freiberg, Germany, Springer 2002, 513-519.

Ranger, J., Marques, R. and Colin-Belgrand, M., 1997. Nutrient dynamics during the development of a Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.) stand. *Acta Oecologica*, 18 (2): 73-90.

Thiry, Y., Schmidt, P., Van Hees, M., Wannijn, J., Van Bree, P., Rufyikiri, G., & Vandenhove, H. (2005). Uranium distribution and cycling in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing on a revegetated U-mining heap. *Journal of environmental radioactivity*, 81(2-3), 201-219.