

## Combustion de saules utilisés en phytoextraction

Mario Delplanque, Serge Collet, Florence del Gratta, Benoît Schnuriger,  
Rodolphe Gaucher, Valérie Bert

► **To cite this version:**

Mario Delplanque, Serge Collet, Florence del Gratta, Benoît Schnuriger, Rodolphe Gaucher, et al..  
Combustion de saules utilisés en phytoextraction. Rapport Scientifique INERIS, 2014, 2013-2014,  
pp.49-49. ineris-01869505

**HAL Id: ineris-01869505**

**<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-01869505>**

Submitted on 6 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Marion DELPLANQUE Serge COLLET Florence DEL GRATTA

Benoit SCHNURIGER Rodolphe GAUCHER Valérie BERT

# COMBUSTION DE SAULES UTILISÉS EN PHYTOEXTRACTION

## Références

[1] Bert V, Hadj-Sahrouai A, Leyval C, Fontaine J, Ouvrard S (2012). *Les phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués, état de l'art et guide de mise en œuvre*, Paris : EDP Sciences, ISBN 978-2-7598-0805-2.

[2] Delplanque M, Collet S, Del Gratta F, Schnuriger B, Gaucher R, Robinson B, Bert V (2013). *Combustion of Salix used for phytoextraction: the fate of metals and viability of the processes*, Biomass and bioenergy, 2013, 49: 160-170.

### Remerciements :

L'INERIS remercie Voies Navigables de France pour avoir permis d'accéder au terrain de dépôt de sédiment et pour avoir fourni des saules pour les essais. Ces essais ont été financés dans le cadre du projet européen GREENLAND (FP7, KBBE-2010-4, 26124).

La région Nord-Pas-de-Calais est fortement concernée par la problématique des sédiments contaminés notamment par les éléments traces métalliques (ETM). La mise en dépôt, à défaut de filières de valorisation à l'échelle industrielle, est encore le débouché majoritaire. Pour gérer ces pollutions, la phytoextraction, utilisation *in situ* de plantes pour réduire les concentrations de polluants dans les sols [1], est une des options possibles. L'étude rapportée ici utilise la combustion de saules, espèce à croissance rapide d'intérêt pour la phytoextraction et pour la valorisation en bois-énergie [2]. La phytoextraction réduirait l'impact environnemental de ces sédiments tout en permettant une valorisation économique de l'espace immobilisé, via la vente de la biomasse produite dans une filière non alimentaire existante.

### Description des essais - Figure 1

Des saules issus d'un taillis à très courte rotation mis en place par Voies Navigables de France ont été échantillonnés *in situ*, sur un terrain de dépôt de sédiment pollué par les ETM. Deux objectifs : diminuer la concentration en cadmium (Cd) du sédiment et produire de la biomasse. Les sédiments ont été collectés au pied des saules pour calculer les facteurs

de bioconcentration. Les concentrations en ETM ont été mesurées dans les feuilles et le bois des saules afin de calculer leurs performances de phytoextraction.

Des essais de combustion ont été réalisés dans la chaudière pilote de l'INERIS (40 kW) sur des saules collectés sur le terrain de dépôt de sédiment pollué, et sur des saules commerciaux, achetés chez un pépiniériste *Figure 1*. Des mesures de concentrations d'ETM ont été réalisées dans les différents produits de la combustion (cendres sous foyer, fractions gazeuse et particulaire des cendres volantes) de façon à étudier la distribution des ETM et à établir des bilans de masse.

### Efficacité de la phytoextraction du Cd chez le saule 'Tora' - Tableau 1

La concentration en Cd est plus importante dans les feuilles que dans le bois. Le facteur de bioconcentration (BCF) pour le Cd, ratio entre la concentration de Cd dans les feuilles ou le bois des saules sur la concentration en Cd dans le sédiment, est de 5 quand il est calculé à partir des concentrations foliaires et de 3 quand il est calculé à partir des concentrations du bois. Le saule 'Tora' est donc un arbre phytoextracteur efficace pour

Tableau 1

Efficacité phytoextractrice du Cd pour le saule 'Tora'. Collaboration : Université de Lincoln, Nouvelle-Zélande

	Cd (mg kg <sup>-1</sup> DW)	BCF	Rendement (Mg ha <sup>-1</sup> )	Extraction Cd (kg ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> )	Temps (an)	Cd extrait par coupe (kg ha <sup>-1</sup> )	Nombre de coupes	Nombre de TTCR
Scénario 1 (2,39 à 2 mg kg <sup>-1</sup> DW)								
Bois	7,3	3,1	16,8	0,04	62	0,12	21	3
Feuilles	11,8	4,9	1,7	0,02		0,02		
Bois + feuilles				0,006	41	0,14	18	2
Scénario 2 (2,39 à 2 mg kg <sup>-1</sup> DW)								
Bois	13,9	4,4	16,8	0,07	33	0,23	11	2
Feuilles	33,1	10,5	1,7	0,05		0,05		
Bois + feuilles				0,13	19	0,29	9	2
Scénario 3 (3,16 à 2 mg kg <sup>-1</sup> DW)								
Bois	13,9	4,4	16,8	0,07	97	0,23	32	4
Feuilles	33,1	10,5	1,7	0,05		0,6		
Bois + feuilles				0,13	56	0,29	26	4

Scénario 1 : concentrations moyennes en Cd sédiment et parties aériennes des plantes (bois, feuilles, bois et feuilles)

Scénario 2 : concentrations moyennes en Cd sédiment et concentrations maximales en Cd parties aériennes des plantes

Scénario 3 : concentrations maximales en Cd sédiment les parties aériennes des plantes

Les données : concentrations en Cd dans les parties aériennes (mg kg<sup>-1</sup> DW = poids sec), BCF ; production de biomasse (Mg ha<sup>-1</sup>), extraction annuelle de Cd (kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>) et par coupe (kg ha<sup>-1</sup>) et temps de dépollution estimé pour atteindre une concentration de 2 mg kg<sup>-1</sup> poids sec. Les hypothèses pour les calculs : extraction linéaire, densité de sédiment de 1,3, 8 coupes possibles sur un cycle de 24 ans (Taillis à Très Courte Rotation, TTCR).

*Phytoextraction may reduce the environmental risk posed by contaminated sediments while simultaneously providing an economic return via bioenergy production. There is a lack of information on the combustion of metal enriched willows used for phytoextraction. This work aimed at determining the Cd phytoextraction efficiency of Salix on a case study in France and assessing the distribution of metals in the emissions and end products of the combustion process. Three willow clones were cultivated in short rotation coppice (SRC) on a metal contaminated dredged sediment landfill site. Combustion assays were performed in a biomass boiler of 40 kW with a Zn and Cd enriched Salix wood 'Tora' harvested from a part of the SRC and a commercial 'Tora', for comparison. In a best-case scenario, phytoextraction could reduce total Cd concentrations of the sediment from 2.39 to 2 mg kg<sup>-1</sup> DW in 19 years. Combustion assays showed that Cd and Zn occurred at the highest concentrations in the particulate fraction of the flue gas (flyash), rather than in the bottom ash. This was also observed for Cd in the flue gas of the commercial 'Tora'. Irrespective of the wood provenance, the use of industrial or collective boilers, equipped with efficient filters, is required to minimize air pollution.*

le Cd sur ce terrain de dépôt. L'efficacité de la phytoextraction se mesure par comparaison entre la concentration de Cd résiduelle et le seuil de dépollution souhaité. Plusieurs scénarios ont été considérés pour calculer les rendement d'extraction du Cd. Le temps nécessaire pour réduire la concentration de Cd, de 2,39 mg kg<sup>-1</sup> à 2 mg kg<sup>-1</sup> dans les 50 premiers cm de sédiment, est de 19 ans dans le meilleur des cas. Ce calcul prend en compte l'exportation du bois et des feuilles. Le temps est estimé à 33 ans dans le cas où seul le bois est exporté. La collecte des saules au printemps, n'étant pas une pratique usuelle, il faudrait vérifier que cette option est techniquement possible et économiquement viable.

### **Distribution du zinc (Zn) et du Cd dans les produits de combustion du saule 'Tora' - Tableau 2**

Les expériences suivaient deux objectifs : comprendre le comportement du Zn et du

Cd lors de la combustion de biomasse et comparer les résultats de ces tests avec des bois commerciaux. La répartition du Zn et du Cd dans les émissions (cendres sous foyer, cendres volantes et gaz de combustion) durant les combustions étudiées montre la même tendance. Elle dépend principalement de la répartition des températures dans le foyer de combustion. La majorité du Cd et du Zn est mesurée dans la fraction particulière des fumées (cendres volantes) ce qui s'explique par la volatilisation du Zn et du Cd à la température du foyer de la chaudière et une condensation de ces métaux sur des particules de faible diamètre [2].

### **Conclusions et perspectives**

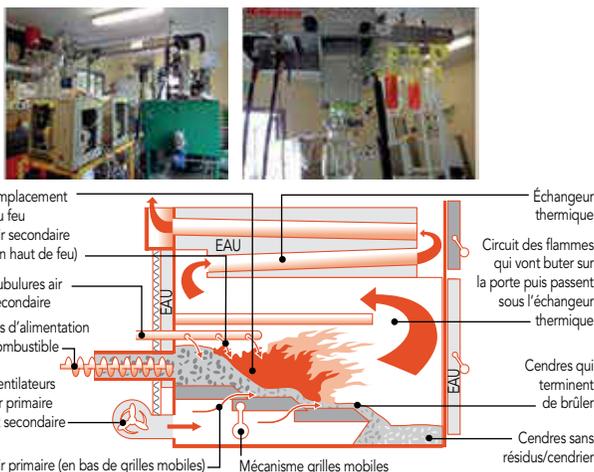
Cette étude montre que le temps nécessaire pour dépolluer un sédiment faiblement pollué en Cd n'est pas excessif et peut, dans ce cas, ne pas représenter une contrainte, en particulier si la phytoextraction peut être combinée avec la production d'une biomasse végétale valorisable.

Les études réalisées sur deux types de saules 'Tora', l'un accumulant le Cd, l'autre commercial, présentant une concentration naturelle en ETM, ont montré que dans les deux cas les concentrations les plus élevées en Cd et en Zn étaient mesurées dans la fraction particulière des fumées (cendres volantes). Le gisement actuel issu de phytoextraction est insuffisant pour alimenter en propre des chaudières à biomasse. Si le gisement devenait significatif, l'utilisation de bois, contenant des métaux, issus d'opération de phytoextraction, pourrait être envisagée dans des chaudières industrielles ou collectives équipées de filtres efficaces pour éviter tout transfert de polluant à l'atmosphère.

La question des transferts de polluants se pose pour chaque filière où la biomasse peut être combustible, ou matière première (bio-raffinerie) et pour assurer le développement des phytotechnologies comme ressources de biomasse supplémentaire sur des sols impropres à l'alimentation.

**Figure 1**

Chaudière pilote (40 kW) et dispositifs de mesure associés utilisés lors des essais de combustion à l'INERIS.



**Tableau 2**

Concentrations et pourcentage en masse en Cd et Zn dans les cendres sous-foyer et les fumées du bois de saule témoin (« Contrôle » *S. viminalis* 'Tora') et du saule utilisé en phytoextraction (« phytoextraction » *S. viminalis* 'Tora'). [1]

		"contrôle"		"phytoextraction"	
		Concentration (mg kg <sup>-1</sup> poids sec)	%	Concentration (mg kg <sup>-1</sup> poids sec)	%
Cd	Bois	1.4	100	7.3±4.2	100
	Cendres sous-foyer	0.02	1.4	0.06	0.8
	Fumées	1	71	6.3	86
Zn	Bois	38	100	285±94	100
	Cendres sous-foyer	1.5	3.9	15	5.3
	Fumées	50	131	358	126