

# Les cendres de bois: un nouvel engrais pour l'agriculture suisse

Alexandra Maltas et Sokrat Sinaj

Agroscope, Institut des sciences en production végétale IPV, 1260 Nyon

Renseignements: Sokrat Sinaj, e-mail: sokrat.sinaj@agroscope.admin.ch



Les cendres sous foyer de la centrale Enerbois sont humidifiées pour abaisser leur température puis transportées par convoyeur jusqu'à une benne où elles sont stockées jusqu'à leur mise en décharge. (Photo: Maltas, 2013).

## Introduction

L'utilisation des cendres de bois pour le chaulage des sols et la fertilisation potassique des cultures était autrefois pratique courante, mais elle est aujourd'hui délaissée en Suisse. Les cendres de bois ne figurent pas dans la liste des engrais autorisés par l'ordonnance sur les engrais

(RS.916.171, 2011) mais une autorisation peut leur être délivrée si elles répondent aux exigences fixées pour les «engrais de recyclage» dans l'annexe 2.6 de l'ORRChim (RS.814.81, 2011). Afin de préserver la qualité des sols et de réduire les risques de transfert de substances indésirables vers la chaîne alimentaire, cette annexe définit des teneurs totales maximales à ne pas dépasser pour six éléments traces métalliques (ETM) potentiellement toxiques (Cd, Cu, Hg, Ni, Pb et Zn).

Les cendres de bois ne respectent que rarement ces exigences et sont donc généralement mises en décharge, ce qui représente une perte importante d'éléments fertilisants naturels et un coût pour les chaufferies à bois. Or, pour évaluer et prévenir les risques environnementaux, la seule détermination des teneurs totales en ETM n'est pas suffisante, puisque la mobilité, la biodisponibilité et donc la toxicité des ETM dépend avant tout de leur forme chimique (Bruder-Hubscher *et al.* 2002). D'autre part, c'est la quantité d'ETM épandue à l'hectare qui détermine les risques d'accumulation à long terme d'ETM dans les sols. Les intérêts et risques agro-environnementaux de l'utilisation agricole de ces sous-produits industriels doivent donc être évalués plus précisément.

L'équipe de nutrition des plantes d'Agroscope à Changins étudie depuis 2011 les effets agronomiques de l'épandage des cendres sous foyer de la centrale Enerbois. Les objectifs sont (i) la caractérisation de la composition, de la minéralogie et de la forme chimique des macroéléments et des ETM contenus dans les cendres, (ii) l'identification de l'origine de ces ETM et (iii) l'évaluation des effets des cendres sur les propriétés chimiques et biologiques des sols, le rendement et le prélèvement en ETM par les cultures. Le présent article synthétise les résultats d'une étude relative à l'objectif (iii) (Maltas et Sinaj 2013).

## Matériel et méthodes

### Echantillonnage et analyses des cendres

La centrale Enerbois (Rueyres, Vaud) est la plus grande centrale de production d'énergie électrique à base de biomasse de Suisse romande. Elle produit de l'énergie à

partir de la combustion des sous-produits (écorces et plaquettes) de la scierie voisine, la scierie Zahnd. Les bois utilisés sont des résineux propres, non traités et prélevés en Suisse occidentale. La centrale produit deux types de cendres: des cendres sous foyer qui sont évacuées par des grilles mobiles et refroidies par de l'eau et des cendres volantes davantage chargées en ETM (Maltas et Sinaj 2013). Lors de l'échantillonnage, les cendres sous foyer représentaient un tiers du total des cendres produites par la centrale. Les cendres analysées ici sont des cendres sous foyer prélevées en mars 2011 aux semaines 10, 11, 12 et 13. Chaque échantillon hebdomadaire était un mélange constitué de cinq à sept prélèvements journaliers d'environ 500 g chacun. Les cendres ont ensuite été séchées à 40 °C et tamisées à 2 mm. Leurs teneurs totales en macroéléments, microéléments et ETM ont été analysées après mise en solution dans les acides fluorhydrique et perchlorique ([www.lille.inra.fr/las](http://www.lille.inra.fr/las)). Les analyses minéralogiques (diffractions aux rayons X et microscopie électronique à balayage) ont été effectuées par l'INRA de Nancy. La spéciation des macroéléments et ETM a été analysée selon la méthode BCR (Rauret *et al.* 2000).

### Essai en serre

Un essai en pots a été effectué dans les serres d'Agroscope à Changins. Le tournesol (variété San Lucas) a été choisi pour ses exigences très élevées en K. Il a été semé le 11 mai et récolté à maturité le 19 septembre 2012. Chaque pot contenait 2 kg de sol sec et une plante. L'humidité du sol était maintenue à environ 70% de la capacité au champ avec de l'eau déminéralisée. La température de la serre était régulée entre 20–25 °C.

Le sol utilisé était un sol argileux (53,8% d'argile et 12,4% de sable) de pH faiblement acide (6,7). Ses teneurs totales en N, P, K et Mg s'élevaient respectivement à 3,4, 0,94, 19,8 et 12,4 g/kg MS. Quatre traitements ont été mis en place: (i) «Témoin» sans apport de cendres et de nutriments chimiques, (ii) «Cendres» avec apport de K sous forme de cendres mais sans apport de nutriments chimiques, (iii) «NPMg-Cendres» avec apports de K sous forme de cendres et de N, P et Mg sous forme d'engrais chimiques et (iv) «NPMg-K» avec apport de N, P, Mg et K sous forme d'engrais chimiques. Chaque traitement a été répété trois fois et randomisé au sein de trois blocs. Les doses de cendres (traitements «Cendres» et «NPMg-Cendres») et de KCl (traitement «NPMg-K») ont été calculées de manière à satisfaire les besoins en K du tournesol (Sinaj *et al.* 2009). Les autres nutriments chimiques N, P et Mg ont également été apportés selon Sinaj *et al.* (2009). Les engrais chimiques et les cendres sous foyer ont été incorporés et mélangés au sol avant le remplissage des pots. Les engrais chimiques utilisés étaient du

### Résumé

L'utilisation de cendres de bois en guise d'engrais potassique a été testée sur le tournesol. L'essai s'est déroulé en serre à Changins, avec les cendres sous foyer de la centrale à bois Enerbois (Vaud). Ces cendres présentaient des teneurs élevées en Ca et en K mais contenaient également des éléments traces métalliques, notamment du Cu, du Zn et du Ni. Cet essai a mis en évidence une efficacité du K contenu dans ces cendres équivalente à celle du KCl utilisé comme engrais potassique de référence. En conditions limitantes en NPKMg, ces cendres ont eu un effet favorable sur la biomasse du tournesol et l'absorption du K, alors que les quantités de Ni et Zn absorbées ont diminué, vraisemblablement en raison de l'effet négatif du chaulage sur la solubilité de ces éléments. En conditions non limitantes en NPKMg, les mêmes tendances ont été observées sur la biomasse et l'absorption du Ni et Zn. Cet essai a montré que, malgré des teneurs en Ni et Cu supérieures aux seuils actuellement autorisés en Suisse pour l'épandage d'engrais de recyclage, ce sont avant tout les teneurs en K qui limitent la quantité de cendres à épandre.

**Tableau 1 | Teneurs totales en macro- et microéléments dans les cendres sous foyer d'Enerbois et dans les cendres de bois selon la littérature. Les valeurs entre parenthèses représentent le coefficient de variation**

	Cendres Enerbois	Littérature <sup>1</sup>
pH-H <sub>2</sub> O	13,2 (1 %)	9 – 13,5
<b>Macroéléments (g/kg MS)</b>		
Calcium (Ca)	281,3 (2 %)	109,4 – 317,4
Potassium (K)	67,4 (9 %)	24,0 – 41,3
Magnésium (Mg)	16,5 (5 %)	16,0 – 22,5
Phosphore (P)	9,2 (9 %)	5,0 – 14,0
Azote (N)	0,07 (27 %)	0,3 – 0,9
<b>Microéléments (mg/kg MS)</b>		
Aluminium (Al)	17 300 (7 %)	13 000 – 23 650
Fer (Fe)	12 175 (3 %)	3 300 – 19 500
Manganèse (Mn)	7 550 (7 %)	3 470 – 8 160
Bore (B)	147 (12 %)	8 – 135
Chrome (Cr)	123 (17 %)	14 – 86
Vanadium (V)	22 (12 %)	–
Cobalt (Co)	9 (168 %)	4 – 10
Molybdène (Mo)	1,1 (7 %)	<5 – 114

<sup>1</sup>Demeyer *et al.* 2001, Hébert et Breton 2008.

**Tableau 2 | Teneurs en éléments traces métalliques (ETM) maximales autorisées pour les engrais de recyclage, teneurs dans les cendres sous foyer d'Enerbois et selon la littérature. Les valeurs entre parenthèses représentent le coefficient de variation**

	Teneurs maximales autorisées <sup>1</sup>	Cendres Enerbois	Littérature <sup>2</sup>
	mg/kg MS		
Zinc (Zn)	400	178 (14 %)	700 – 924
Cuivre (Cu)	100	110 (21 %)	74 – 145
Nickel (Ni)	30	52 (7 %)	12 – 47
Plomb (Pb)	120	21 (53 %)	<22 – 130
Cadmium (Cd)	1	<0,6	3 – 21
Mercure (Hg)	1	<0,02	<0,1

<sup>1</sup>Selon l'annexe 2.6, ch. 2.2.1 de l'ORRChim.

<sup>2</sup>Demeyer *et al.* 2001, Hébert et Breton 2008.

nitrate d'ammonium (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), du triple superphosphate [Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O], du chlorure de magnésium (MgCl<sub>2</sub>), du chlorure de potassium (KCl) et de la chaux vive (CaO). A la récolte, la matière sèche (MS) totale (racines, feuilles, tiges, grains) a été mesurée et ses teneurs en N, P, K, Mg, Zn, Cu et Ni ont été analysées après une minéralisation par voie sèche et une mise en solution dans l'acide fluorhydrique ([www.bordeaux.inra.fr/usrave](http://www.bordeaux.inra.fr/usrave)).

### Calculs et analyses statistiques

Les effets de l'apport de cendres ont été analysés en conditions limitantes (traitements «Témoin» versus «Cendres») et non limitantes en NPMgK (traitements

«NPMg-K» versus «NPMg-Cendres») à l'aide du test *t* de Student et du logiciel R 2.14.1 (R Development Core Team, 2011).

## Résultats et discussion

### Caractéristiques des cendres sous foyer d'Enerbois

Les cendres d'Enerbois présentent un pH très alcalin, qui est à mettre en relation avec leurs teneurs élevées en Ca et Mg (tabl. 1). Le Ca se présente (fig. 1) majoritairement sous forme de carbonate [(calcite: CaCO<sub>3</sub>)] et d'hydroxyle [portlandite: Ca(OH)<sub>2</sub>], formes peu réactives qui expliquent l'action moins agressive et plus lente des

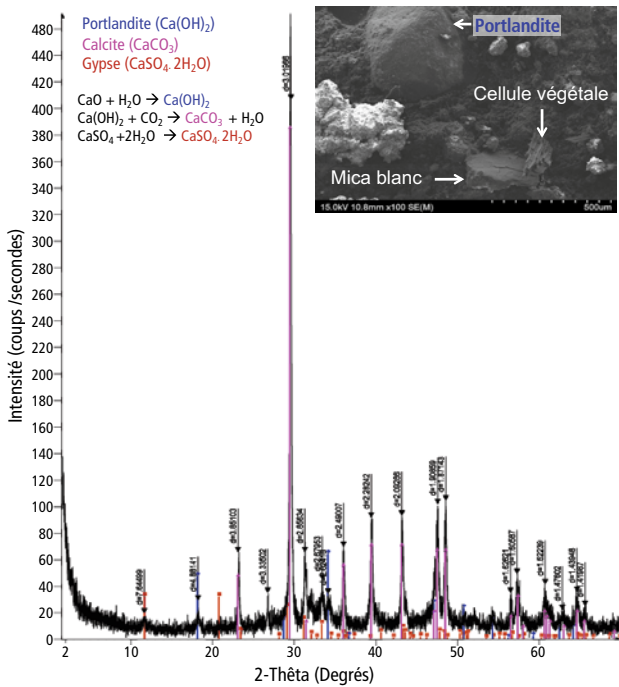


Figure 1 | Minéralogie du calcium.

cendres sur le pH des sols comparée à celle de la chaux vive (CaO) (Maltas et Sinaj 2013).

Comme attendu, ces cendres sont une source importante de K et dans une moindre mesure de P et Mg (tabl. 1). Elles apportent également un grand nombre de microéléments (en particulier Al, Fe, Mn et B) et d'ETM dont du Zn, Cu, Ni et Pb (tabl. 1 et 2). Ces ETM, qui sont présents dans les sols suisses (Luster *et al.* 2006) et donc dans les bois, se concentrent dans les cendres lors de la combustion (Hébert et Breton 2008; Maltas et Sinaj 2013). Par ailleurs, les ETM se concentrent davantage dans les cendres volantes que dans les cendres sous foyer (Maltas et Sinaj 2013). La centrale Enerbois sépare ces deux types de cendres alors que les cendres analysées dans la littérature sont généralement un mélange des deux. Ainsi, les cendres Enerbois présentent des teneurs en Zn, Pb et Cd nettement moindres que celles reportées dans la littérature (tabl. 2). Malgré cela, leurs teneurs en Cu et Ni dépassent les seuils fixés dans l'ORR-Chim, interdisant toute utilisation agricole de ces cendres (tabl. 2).

**Effet des cendres sur la biomasse du tournesol**

En conditions limitantes en NPMgK («Témoin» versus «Cendres»), l'apport de cendres augmente significativement la production de MS (fig. 2a). La même tendance est observée en conditions non limitantes en NPMgK (fig. 2b). L'effet positif des cendres sur la production a déjà été observé sur de nombreuses plantes cultivées: avoine, blé d'hiver, fétuque, épinard, pois, maïs, peuplier et soja (Demeyer *et al.* 2001). Cet effet peut être imputé à l'effet chaulant des cendres sur ce sol faiblement acide et/ou à l'apport de macro- et microéléments par les cendres.

**Absorption des macroéléments par le tournesol**

En conditions limitantes en NPMgK, l'absorption du K est significativement plus élevée en présence de cendres («Cendres» versus «Témoin», fig. 3a). Ceci montre que les cendres apportent du K facilement assimilable par les plantes. En effet, 36% et 49% du K total contenu dans ces cendres sont solubles respectivement dans l'eau (Maltas et Sinaj 2011) et dans l'acide acétique (fig. 4). Erich (1991) mentionne une efficacité du K contenu dans les cendres équivalente à celle des engrais potassiques chimiques. Cet essai confirme ce résultat, puisqu'en conditions non limitantes en NPMgK, les quantités de K absorbé par le tournesol sont comparables, que le K soit apporté sous forme de cendres ou sous forme de KCl (fig. 3b).

Par ailleurs, l'apport de cendres tend ( $P > 0,05$ ) à améliorer l'absorption de l'azote (N) et du phosphore (P) par le

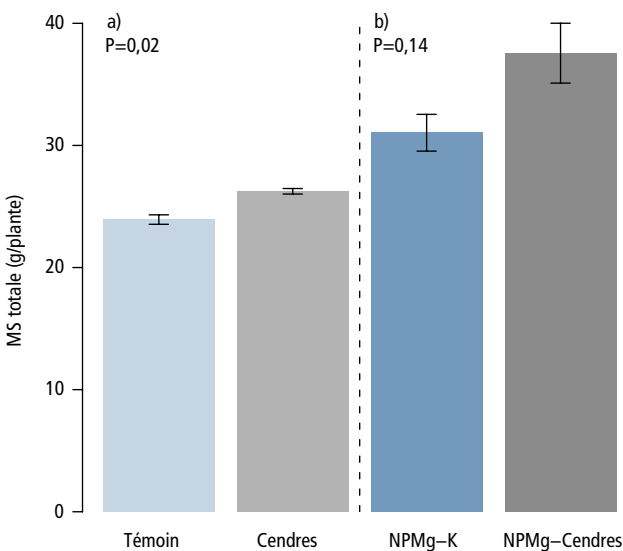
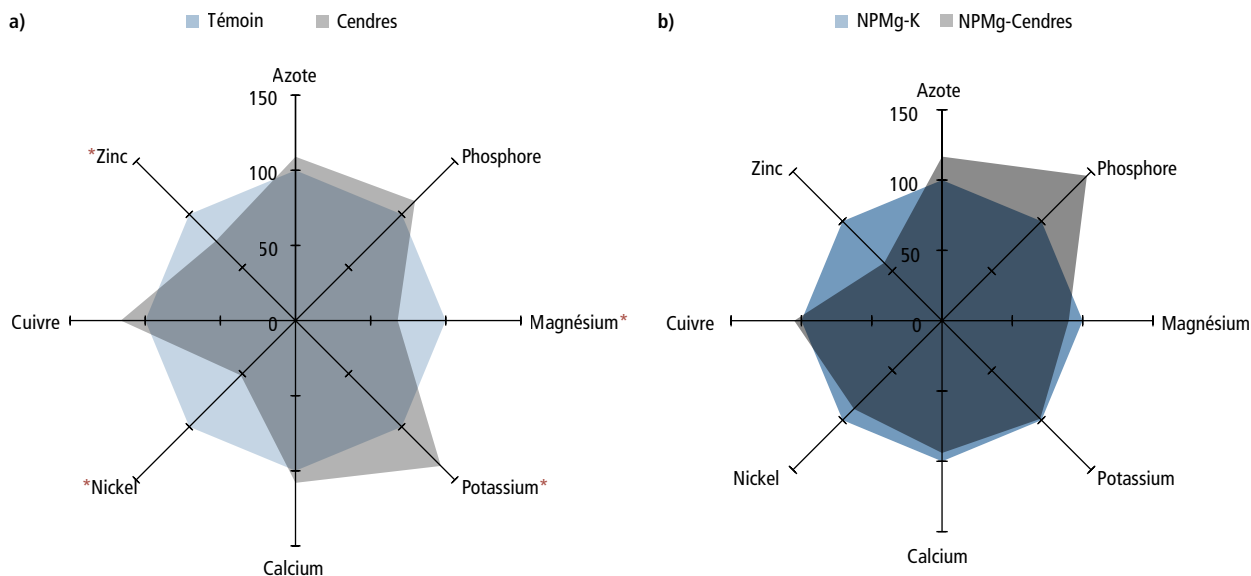


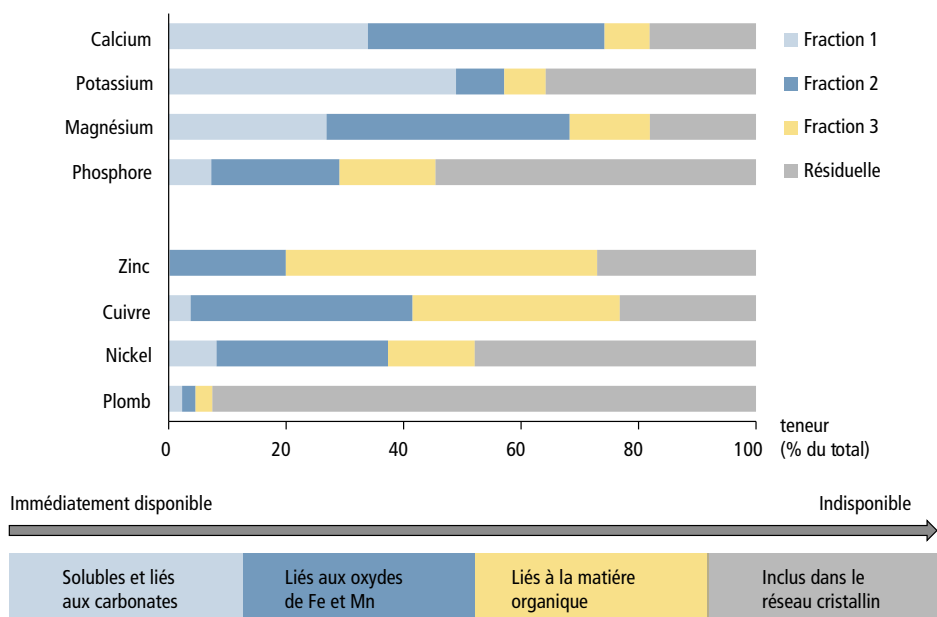
Figure 2 | Quantité de matière sèche (MS) totale du tournesol à la récolte en conditions a) limitantes et b) non limitantes en NPMgK. La probabilité du test t et l'erreur standard (barres verticales) sont indiquées.



**Figure 3 |** Absorption des minéraux par le tournesol en conditions a) limitantes et b) non limitantes en NPMgK. Les résultats sont exprimés en valeur relative par rapport aux traitements sans cendres (traitements «témoin» et «NPMg-K» respectivement pour la figure a et b). Les astérisques indiquent des différences significatives entre les deux traitements au seuil de 5 % selon le test t.

tournesol en conditions limitantes (fig. 3a) et surtout en conditions non limitantes en NPMgK (fig. 3b). Les cendres sont pratiquement dépourvues de N (tabl. 1). Cet effet bénéfique sur le prélèvement en N est vraisemblablement lié à l'action positive du chaulage sur la minéralisation de la matière organique du sol (Maltas et Sinaj 2013). L'effet positif des cendres sur l'absorption du

P par le tournesol résulterait, quant à lui, d'un double effet sur la teneur du sol en P échangeable [extrait à l'acétate ammonium EDTA (AAE)]: (i) un effet positif du chaulage sur la disponibilité du P dans ce sol légèrement acide (Maltas et Sinaj 2013) et (ii) un effet dû aux quantités significatives de P échangeable apportées par les cendres (fig. 4).



**Figure 4 |** Spéciation des macroéléments et ETM.

**Tableau 3 | Quantités d'ETM maximales autorisées pour les engrais de recyclage et quantités moyennes occasionnées par l'apport de 25 t MS/ha de compost agricole et par 5 t MS/ha de cendres sous foyer d'Enerbois**

	Quantités apportées (kg/ha en trois ans)		
	Maximales autorisées <sup>1</sup>	Cendres Enerbois	Compost agricole <sup>2</sup>
MS <sup>3</sup>	25 000	5 000	25 000
Zn	10	0,89	3,71
Cu	2,5	0,55	1,59
Ni	0,75	0,26	0,37
Pb	3	0,11	1,15
Cd	0,025	<0,002	<0,003
Hg	0,025	nd <sup>4</sup>	nd <sup>4</sup>

<sup>1</sup>Déduites de l'annexe 2.6 de l'ORRChim.

<sup>2</sup>Selon Kupper et Fuchs (2007), les composts agricoles suisses présentent des teneurs moyennes en Zn, Cu, Ni, Pb et Cd respectivement de 148, 64, 15, 46 et 0,1 mg/kg MS.

<sup>3</sup>MS: matière sèche.

<sup>4</sup>nd: non déterminé car les teneurs dans les engrais étaient inférieures aux seuils de détection.

En conditions limitantes en NPMgK, l'absorption du Mg par le tournesol diminue significativement en présence de cendres (fig. 3a), malgré l'apport de Mg par ces dernières. En présence d'amendement calcaire, une baisse de l'absorption du Mg par les plantes est généralement imputée à l'antagonisme entre l'absorption du Ca et du Mg (Marschner 2012, Halvin *et al.* 2005). Dans cet essai, il n'a pas été constaté d'effet significatif des cendres sur les quantités de Ca absorbé (fig. 3). Un antagonisme avec l'absorption du K semble donc plus plausible.

#### Absorption des ETM par le tournesol

En présence de cendres, le tournesol a absorbé moins de Zn et de Ni. Cet effet est significatif en conditions limitantes en NPMgK (fig. 3a), mais ne l'est pas en conditions non limitantes (fig. 3b). Les moindres absorptions de Zn et Ni en présence de cendres peuvent être reliées à la baisse des teneurs dans le sol en Zn et Ni échangeables (extraits à l'AAE) observée lorsque ce sol faiblement acide est chaulé (Maltas et Sinaj 2013). En effet, lorsque le pH du sol augmente, les ETM sont adsorbés sur les oxydes de Fe et Al, ce qui les rend indisponibles pour les cultures (Havlin *et al.* 2005). Le Zn et le Ni sont très sensibles à cet effet du pH alors que le Cu est peu affecté (Smith 1994). De plus, les cendres sous foyer d'Enerbois apportent de très petites quantités de Zn, Cu, Ni et Pb sous forme immédiatement disponibles (0,2 à 8% du total; fig. 4). Les études d'épandage de cendres aux doses agronomiques menées au Québec ne rapportent également pas de problèmes à court terme dus aux ETM sur la qualité des sols, des cultures, de l'eau souterraine

et la faune (Hébert et Breton 2008). Cependant, la question de leur toxicité sur le long terme demeure, dans la mesure où 73% du Cu, 73% du Zn, 44% du Ni et 5% du Pb contenus dans les cendres étudiées sont présents sous des formes lentement mais potentiellement disponibles en conditions réductrices ou oxydantes (fig. 4).

#### Risques sur le long terme liés aux ETM

Seule la définition de quantités maximales d'ETM (kg/ha) apportées au sol permet d'éviter les risques d'accumulation à des niveaux toxiques sur le long terme. Pour éviter cela, la quantité maximale d'engrais de recyclage autorisée pour la fumure a été fixée à 25 t MS/ha en trois ans à répartir en une ou plusieurs applications (annexe 2.6, ch 3.2.2 de l'ORRChim). En tenant compte des teneurs maximales autorisées (tabl. 2), cette quantité de MS permet de maintenir les quantités d'ETM sous les seuils mentionnés au tableau 3. Sur la base des teneurs en K des cendres sous foyer d'Enerbois (tabl. 1) et des besoins des grandes cultures en K (Sinaj *et al.* 2009), la quantité de cendres nécessaire pour fertiliser une culture en K ne devrait pas excéder 5 t MS/ha. Or, avec une dose maximale de cendres de 5 t MS/ha en trois ans, à répartir en une ou plusieurs fois, les quantités d'ETM apportées par les cendres sont bien moindres que (i) les quantités maximales autorisées pour les engrais de recyclage et (ii) les quantités engendrées par un compost agricole classique utilisé à la dose maximale autorisée de 25 t MS/ha en 3 ans (tabl. 3). Ce constat pose la question de la pertinence des teneurs maximales en ETM actuellement utilisées pour les cendres. Une modulation des

teneurs maximales en fonction de la quantité de MS épandue permettrait de respecter les quantités d'ETM maximales autorisées tout en permettant la valorisation de nouvelles sources d'engrais naturels telles que les cendres sous foyer.

Ces résultats vont dans le sens d'autres études qui mettent en évidence que les cendres de bois utilisées occasionnellement et à des doses agronomiques ne présenteraient pas de risques environnementaux à court et long terme (Demeyer *et al.* 2001, Hébert et Breton 2008). Demeyer *et al.* (2001) soulignent que les besoins en amendement ou en K limitent généralement d'eux-mêmes la dose de cendres épandues.

## Conclusions

Les résultats de cette étude montrent (i) que les cendres sous foyer de la centrale Enerbois ne semblent pas présenter de risques pour les sols et les cultures et pourraient être utilisées comme engrais potassique sur les sols acides, et (ii) qu'il serait intéressant de poursuivre les recherches en analysant les effets de ces cendres sur des sols neutres et légèrement alcalins ainsi qu'au champ. ■

### Remerciements

Les auteurs remercient l'entreprise Romande Energie SA pour le co-financement de cette étude et Dr M. P. Turpault, INRA Nancy, pour les analyses minéralogiques.

### Bibliographie

- Bruder-Hubscher V., Lagarde F., Leroy M. J. F., Coughanowr C. & Enguehard F., 2002. Application of a sequential extraction procedure to study the release of elements from municipal solid waste incineration bottom ash. *Analytica Chimica acta* **451**, 285–295.
- Demeyer A., Voundi Nkana J. C. & Verloo M. G., 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresource Technology* **77**, 287–295.
- Erich M.S., 1991. Agronomic effectiveness of wood ash as a source of phosphorus and potassium. *Journal of Environmental Quality* **20**, 576–581.
- Halvin J. L., Beaton J. D., Tisdale S. L. & Nelson W. L., 2005. Soil fertility and fertilizers : an introduction to nutrient management. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. 515 p.
- Hébert M. & B. Breton., 2008. Recyclage agricole des cendres de bois au Québec- Etat de la situation, impacts et bonnes pratiques agroenvironnementales. *Agrosolutions*. **19**, 18–33.
- Kupper T. & J. Fuchs., 2007. Compost et digestat en Suisse. Connaissance de l'environnement 743. Office fédérale de l'environnement, Berne. 124 p.
- Luster J., Zimmermann S., Zwicky C. N., Liernemann P. & Blaser P., 2006. Heavy metals in Swiss forest soils: modification of lithogenic and anthropogenic contents by pedogenetic processes, and implications for ecological risk assessment. *Geological Society, London, Special Publications* **266**, 63–78.
- Maltas A. & Sinaj S., 2011. Intérêts agronomiques des cendres humides de la centrale Enerbois. Agroscope. 28 p.
- Maltas A. & Sinaj S., 2013. Effets des cendres de bois de la centrale Enerbois sur les propriétés du sol, le rendement des cultures et la qualité des récoltes. Agroscope. 63 p.
- Marschner P., 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press. 651 p.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R., & Charles R., 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF-GCH). *Revue suisse d'Agriculture* **41** (1), 1–98.
- Smith S. R., 1994. Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludgetreated soils. I. Nickel, copper and zinc uptake and toxicity to ryegrass. *Environmental Pollution* **85** (3), 321–327.
- Rauret G., Lopez-Sanchez J. F., Sahuquillo A. *et al.*, 2000. Application of a modified BCR sequential extraction (three step) procedure for the determination of extractable trace metal contents in a sewage sludge amended soil reference material (CMR 483), complemented by a three-year stability study of acetic acid and EDTA extractable metal content. *Journal of Environmental Monitoring* **2**, 228–233.
- RS.814.81. 2011. Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim). 18 mai 2005 (état le 1<sup>er</sup> juillet 2011).
- RS.814.201. 2011. Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux). 28 octobre 1998 (état le 1<sup>er</sup> août 2011).
- RS.916.171. 2011. Ordonnance sur les engrais (OEng). 10 janvier 2001 (état le 1<sup>er</sup> juillet 2011).

**Riassunto****Le ceneri del legno: un nuovo fertilizzante per agricoltura Svizzera**

Questo articolo riassume i principali risultati di una prova svolta in serra allo scopo di verificare gli effetti delle ceneri provenienti dalla centrale a legno Enerbois e utilizzate come fertilizzante potassico sul girasole. Queste ceneri presentavano elevati tenori in Ca e in K, ma contenevano anche tracce metalliche, in particolare Cu, Zn e Ni. Questa prova ha evidenziato una disponibilità in potassio contenuto nelle ceneri equivalente a quella di KCl utilizzata come fertilizzante potassico di riferimento. In condizioni limitanti in NPKMg queste ceneri hanno ottenuto un effetto favorevole sulla biomassa del girasole e sull'assorbimento di K, mentre le quantità di Ni e Zn assorbite sono diminuite, presumibilmente a causa dell'effetto negativo sulla solubilità della calcinazione di questi elementi. In condizioni senza limitazioni in NPKMg sono state osservate le stesse tendenze sia sulla biomassa, sia sull'assorbimento di Ni e Zn. Questa prova ha mostrato che, malgrado i tenori in Ni e Cu si situino oltre le soglie attualmente autorizzate in Svizzera per lo spargimento di fertilizzanti da riciclaggio, siano soprattutto i tenori in K a limitare la quantità di cenere da spargere.

**Summary****Wood ashes: a new fertilizer for Swiss agriculture**

The use of wood ashes as potash fertilizer was tested on sunflower. The greenhouse experiment was conducted in Changins and used wood ashes provided by the wood power station Enerbois (Vaud). These ashes contained high amounts of Ca and K but also trace elements, particularly Cu, Zn and Ni. Results of the trial highlighted an efficiency of K contained in these ashes equivalent to that of KCl used as reference potassic fertilizer. In NPKMg-limiting conditions, the wood ashes had a positive effect on the biomass of sunflower and the absorption of K, but they reduced the amount of absorbed Ni and Zn, probably because of the negative effect of liming on the solubility of these elements. In not-NPKMg-limiting conditions, the same trends were observed regarding the biomass and the absorption of Ni and Zn. This trial showed that despite Ni and Cu contents beyond the limits currently approved in Switzerland for recycling fertilizer, it is above all the K levels that limit the amount of ashes to be spread.

**Key words:** wood ashes, potassium, trace element, nutrient solubility, liming, Swiss legislation.