



Intérêts agronomiques des cendres humides de la centrale Enerbois

Auteurs

Maltas A. & Sinaj S*.

Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon

*Renseignements:

Sokrat Sinaj, e-mail: sokrat.sinaj@acw.admin.ch, tél. + 41 22 363 46 58





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'économie,
de la formation et de la recherche DEFR
Agroscope

Impressum

Éditeur:	Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW www.agroscope.ch
----------	--

Photo de Couverture : Centrale à bois Enerbois - copyright Enerbois

Impression :	2 nd impression, 2013
--------------	----------------------------------

Copyright:	2011 ACW
------------	----------

Table des matières

IMPRESSUM	2
TABLE DES MATIÈRES.....	3
LISTE DES TABLEAUX.....	4
RÉSUMÉ.....	5
INTRODUCTION	6
MATÉRIEL ET MÉTHODES	8
MATERIAU ETUDIÉ ET ECHANTILLONNAGE	8
MÉTHODES D'ANALYSES CHIMIQUES	8
ANALYSES STATISTIQUES	8
CARACTÉRISTIQUES DES CENDRES HUMIDES D'ENERBOIS	9
CARACTERISTIQUES GENERALES	9
TENEURS EN MACROELEMENTS	9
TENEURS EN MICROELEMENTS	10
VALORISATION PAR ÉPANDAGE DIRECT SUR LES SOLS AGRICOLES.....	12
UN EFFET CHAULANT COMBINÉ À UN EFFET FERTILISANT	12
ASPECT RÉGLEMENTAIRE	13
VALORISATION PAR CO-COMPOSTAGE	14
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHES.....	15
BIBLIOGRAPHIE.....	17
ANNEXES	19
ANNEXE 1: BESOINS DE CHAULAGE EN SUISSE	20
ANNEXE 2 : CLASSIFICATION DES CENDRES DE BOIS DANS LA LISTE OFFICIELLE DES ENGRAIS	22
ANNEXE 3 : RÉGLEMENTATIONS SUR L'ÉPANDAGE AGRICOLE DES CENDRES DANS QUELQUES PAYS EUROPÉENS ET AU QUÉBEC	23
POST-SCRIPTUM DU 27 MAI 2013	26

Liste des tableaux

Tableau 1 : Teneur totale en macro- et microéléments des cendres de bois.....	6
Tableau 2 : Caractéristiques générales des cendres humides d'Enerbois.....	9
Tableau 3 : Teneurs en macroéléments totales et extractibles à l'eau des cendres humides d'Enerbois.....	10
Tableau 4 : Teneurs en microéléments totales et extractibles à l'eau des cendres humides d'Enerbois.....	11
Tableau 5 : Exigences des cultures en termes de pH (Soltner 1976).....	12
Tableau 6: Variabilité dans les cendres humides d'Enerbois des teneurs totales en éléments traces métalliques soumis à restrictions	13
Tableau 7: pH des sols de grandes cultures et de prairie en Suisse (Collaud 2010).....	20
Tableau 8: Amendements basiques utilisés en Suisse (Agridea 2011b).....	20
Tableau 9 : Doses de cendres humides à apporter pour redresser le pH des sols suisses.....	21
Tableau 10: Teneurs maximales en éléments traces métalliques autorisées en Europe et au Québec pour l'épandage des cendres sur sols agricoles et forestiers.....	24
Tableau 11 : Critères français d'innocuité en éléments traces métalliques définis pour l'homologation des matières fertilisantes	24

Résumé

Cette étude visait à caractériser la composition chimique des cendres humides de la centrale Enerbois et d'en déduire les valorisations agronomiques possibles. Nous avons ainsi constaté que les cendres d'Enerbois présentent un potentiel certain en agriculture de par leur effet chaulant combiné à un effet fertilisant potassique. Toutefois, leurs teneurs totales en Cu et Ni dépassent les seuils actuellement autorisés par l'OFAG pour l'épandage en terre agricole. Ainsi, sur la base des teneurs en Cu et Ni, l'épandage des cendres humides d'Enerbois sur les terres agricoles suisses n'est actuellement pas envisageable. La valorisation par co-compostage reste possible, à condition que le mélange cendres-compost respecte les teneurs maximales en éléments traces métalliques fixés par l'OFAG.

Introduction

La centrale Enerbois est la plus grande centrale de production d'énergie à base de biomasse et de pellets de Suisse romande. Elle produit de l'énergie à partir de résidus de bois et engendre environ 22 m³ de cendres par semaine. A l'époque des prélèvements, deux tiers des cendres produites se trouvaient sous forme volante et un tiers sous forme humide. Actuellement, les cendres ne sont pas valorisées. Elles sont mises en décharge ce qui représente un coût non négligeable pour la centrale. En raison de l'intérêt agronomique présumé des cendres humides, la Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW a été mandatée pour mener une expertise sur leurs possibilités de recyclage en agriculture. Cette expertise est l'objet du présent document.

L'utilisation des cendres de bois en agriculture pour le chaulage¹ et la fertilisation potassique des sols était autrefois une pratique courante. Les cendres de bois possèdent un fort pouvoir chaulant dû à leur contenu élevé en éléments basiques comme le calcium et le magnésium (**Tableau 1**). Leur pH est très élevé, généralement compris entre 9 et 13.5 (Demeyer et al. 2001).

Tableau 1 : Teneur totale en macro- et microéléments des cendres de bois

	Etiegni 1991, Huang 1992, Hébert et Breton 2008
Macroéléments (mg/kg)	
Calcium (Ca)	109 400 - 317 400
Potassium (K)	24 000 - 41 300
Magnésium (Mg)	16 000 - 22 500
Soufre (S)	4 455 - 29 000
Phosphore (P)	5 000 - 14 000
Azote (N)	300 - 900
Microéléments (mg/kg)	
Aluminium (Al)	13 000 - 23 650
Fer (Fe)	3 300 - 19 500
Manganèse (Mn)	3 470 - 8 160
Sodium (Na)	1 600 - 4 500
Zinc (Zn)	700 - 924
Cuivre (Cu)	74 - 145
Plomb (Pb)	< 22 - 130
Molybdène (Mo)	< 5 - 114
Bore (B)	8 - 135
Chrome (Cr)	14 - 86
Nickel (Ni)	12 - 47
Cobalt (Co)	4 - 10
Cadmium (Cd)	3 - 21
Arsenic (As)	2
Sélénium (Se)	< 1
Mercure (Hg)	< 0.1

¹ Le chaulage des sols consiste à relever le pH des sols acides par l'apport d'éléments basiques. Les intérêts du chaulage sont multiples (Agridea 2011a; Comifer 2009):

- Augmenter la capacité d'échange cationique du sol et ainsi la dimension du réservoir chimique qu'est le sol
- Améliorer la structure et la stabilité du sol (diminuer la battance, augmenter la résistance au tassement, améliorer la porosité)
- Favoriser le stockage et la circulation de l'eau
- Stimuler l'activité biologique du sol
- Limiter la biodisponibilité des éléments toxiques notamment certains éléments traces métalliques dont la solubilité croît avec l'acidité du sol (exemple de la toxicité aluminique)
- Répondre aux exigences de pH des cultures de la rotation
- Modifier la qualité des prairies (composition botanique)

Elles contiennent également des macroéléments et notamment du potassium en quantités non négligeables (Demeyer et al. 2001, **Tableau 1**). Le terme potasse vient, d'ailleurs, de l'ancienne méthode de préparation de l'engrais potassique (K_2CO_3) qui consistait à lessiver les cendres de bois puis à évaporer la solution dans des pots en fer et à récolter le résidu blanc se trouvant au fond des pots (de l'anglais pot ash, cendre de pot).

Les cendres de bois apportent aussi de nombreux microéléments (**Tableau 1**). Le Cd, le Hg et le Pb n'ont aucune fonction physiologique et sont considérés comme toxiques pour la vie du sol et des cultures, dès lors qu'ils sont présents (Marschner, 1995 ; Hébert et Breton 2008). Les autres microéléments sont tous indispensables à la croissance des végétaux à faible concentration, mais certains, comme l'Al, le Fe, le Mn, le Cu, le Zn, le Ni et le Mo peuvent également devenir toxiques à fortes concentrations (Marschner 1995). Ainsi, sur le long terme, l'apport répété de cendres peut occasionner une accumulation à des niveaux toxiques de certains microéléments. Dans la suite du document, nous qualifierons les microéléments potentiellement toxiques (Cd, Hg, Pb, Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni et Mo) de « **éléments traces métalliques** » (ETM).

Bien que connue dans ces grandes lignes, la composition des cendres de bois est très variable (**Tableau 1**). Elle dépend de nombreux facteurs comme l'espèce de bois et la partie de la plante utilisée ; le type de sol et le climat dans lesquels les arbres se sont développées ainsi que leurs conditions de combustion et de stockage (Demeyer et al. 2001). Les objectifs de cette étude étaient (i) de déterminer la composition chimique des cendres humides produites par la centrale Enerbois; (ii) d'analyser leur variabilité et leur spécificité et (iii) d'en déduire les valorisations agricoles possibles en Suisse.

Matériel et méthodes

Matériau étudié et échantillonnage

Les cendres analysées sont les cendres humides de la centrale Enerbois (Rueyres, Vaud). Elles proviennent de la combustion des sous-produits de bois de la scierie de Zahnd. Il s'agit d'écorces et de plaquettes (chutes des coupes) de résineux de Suisse romande. Les résineux utilisés sont pour 70 % constitués d'épicéa et 30 % de sapins. Pour une combustion optimale, le mélange est composé d'un tiers d'écorces et de deux tiers de plaquettes.

Six échantillons composites de cendres ont été prélevés en 2011. Les prélèvements ont été effectués aux semaines 10, 11, 12, 13, 28 et 29 (S10, S11, S12, S13, S28, S29). Chaque échantillon était un composite constitué de cinq à sept prélèvements journaliers d'environ 500 g chacun.

Méthodes d'analyses chimiques

Pour les échantillons S10 à S13, les analyses ont porté sur :

- la teneur en eau
- les teneurs en matière organique (MO) et carbone organique (CO)
- le pH-eau
- la teneur en calcaire total (CaCO_3)
- la capacité d'échange cationique (CEC)
- les teneurs totales en azote (N), phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca), magnésium (Mg), soufre (S), sodium (Na), chlore (Cl), bore (B), fer (Fe), manganèse (Mn), cobalt (Co), zinc (Zn), cuivre (Cu), plomb (Pb), cadmium (Cd), nickel (Ni), mercure (Hg), chrome (Cr), molybdène (Mo), arsenic (As), et vanadium (V)
- les teneurs extractibles à l'eau en P, K, Ca, Mg, S, Na, B, Mn, Co, Fe, Zn, Cu, Pb et Cd.

Les teneurs totales en ETM, Zn, Cu, Pb, Cd, Ni et Hg, ont été à nouveau analysées sur les échantillons S28 et S29. Ce sont par ailleurs, les seules analyses effectuées sur ces échantillons.

L'ensemble des analyses a été réalisé par le laboratoire d'Analyse des Sols de l'INRA d'Arras en France. La teneur en eau a été déduite après séchage à 105 °C (NF ISO 11465) et la teneur en matière organique, carbone organique et azote total par combustion sèche (NF ISO 10694). Le pH a été mesuré après mise en suspension du sol sec dans l'eau dans un rapport 1/5 (NF ISO 10390). Le calcaire total a été dosé après dissolution dans une solution d'acide chlorhydrique (NF ISO 10693). La capacité d'échange cationique a été analysée selon la méthode de Metson (NF X 31-130). La teneur totale en mercure a été déterminée par combustion sèche (méthode INRA) et le bore total par la méthode CEE 9.1. Les autres teneurs totales en macro et microéléments ont été dosées après mise en solution totale par les acides fluorhydrique et perchlorique (NF X 31-147). Toutes les teneurs extractibles à l'eau ont été mesurées selon la méthode INRA en présence d'eau dans un rapport 1/25.

Analyses statistiques

La moyenne et le coefficient de variation ont été déterminés pour chaque analyse. Pour les teneurs en eau, MO et CO, le pH, la CEC, les teneurs totales en N, P, K, Mg, S, Na, Cl, B, Fe, Mn, Co, Cr, Mo, As et V et les teneurs extractibles à l'eau en P, K, Ca, Mg, S, Na, B, Fe, Mn, Co, Zn, Cu, Pb et Cd, la moyenne et le coefficient de variation ont été obtenus à partir de quatre répétitions (échantillons S10 à S13). Pour les teneurs totales en Zn, Cu, Pb, Cd, Ni et Hg, la moyenne et le coefficient de variation ont été calculés à partir des résultats des six répétitions (S10 à S13 et S28 et S29).

Les teneurs totales et les teneurs extractibles à l'eau sont exprimées sur base sèche en g/kg de matière sèche (MS). Le coefficient de variation (CV) est calculé de la manière suivante: écart-type/moyenne x 100.

Caractéristiques des cendres humides d'Enerbois

Caractéristiques générales

Les cendres humides d'Enerbois contiennent en moyenne 17 g d'eau/kg de MS (**Tableau 2**). Cette eau correspond à l'eau qui est ajoutée aux cendres dites « humides » pour les éteindre et réduire la poussière.

La majeure partie de la matière organique (MO) et du carbone organique (CO) contenus dans le bois brûle lors de la combustion. Ainsi, les cendres d'Enerbois contiennent peu de MO (15 g/kg dont 8 g/kg de C organiques, **Tableau 2**). Cette matière organique épandue au sol permettrait d'améliorer la fertilité globale des sols mais les quantités mises en jeu sont probablement trop faibles pour que cet effet soit significatif. Par ailleurs, la variabilité de la teneur en MO dans les cendres analysées est très élevée (CV de 55 %, **Tableau 2**). Cette variabilité peut provenir de variations du processus de combustion (durée, température) ou du type de sous-produits incinérés (proportion écorces/plaquettes, nature de l'essence, etc.).

Le pH des cendres d'Enerbois présente une valeur moyenne de 13.0 et un très faible coefficient de variation (1 %, **Tableau 2**). Ce pH très alcalin est à mettre en relation avec l'importante quantité de calcium contenue dans les cendres (281 g/kg, **Tableau 3**). Trente-sept pour cent de ce calcium se présente sous forme calcaire (CaCO_3 , **Tableau 2**), le reste se trouve majoritairement sous forme hydroxyde [$\text{Ca}(\text{OH})_2$], car l'eau ajoutée aux cendres transforme rapidement les formes oxydes (CaO) en formes hydroxydes (Hébert et Breton 2008). C'est pour cette raison que le pH des cendres de bois est généralement plus basique que celui de la chaux vive agricole, constituée, elle, principalement de formes oxydes (Hébert et Breton 2008). La capacité d'échange cationique (CEC) des cendres d'Enerbois est élevée (5.1 cmol+/kg MS, **Tableau 2**) en raison de l'alcalinité de ces dernières.

Tableau 2 : Caractéristiques générales des cendres humides d'Enerbois

Caractéristiques	Moyenne	CV
H ₂ O (g/kg MS)	17	24 %
MO (g/kg MS)	15	55 %
CO (g/kg MS)	8	55 %
CaCO ₃ (g/kg MS) ¹	260	8 %
pH-H ₂ O	13.0	1 %
CEC (cmol+/ kg MS)	5.1	13 %

¹: la conversion en Ca s'effectue en multipliant la valeur par 0.4.

Teneurs en macroéléments

Comme attendu, les cendres humides d'Enerbois sont une source importante de calcium et de potassium (respectivement 281 et 67.4 g/kg) et dans une moindre mesure de phosphore et magnésium (9.2 et 16.5 g/kg respectivement, **Tableau 3**). Les teneurs en ces macroéléments sont, par ailleurs, peu variables (CV compris entre 2 et 9 %, **Tableau 3**).

Ces cendres contiennent très peu de soufre (0.77 g/kg) et sont quasiment dépourvues d'azote (0.07 g/kg). Demeyer et al. (2001) ont également noté que les cendres n'étaient pas une source significative d'azote. L'azote, comme le carbone, est en grande partie perdu sous forme gazeuse durant la combustion (Hébert et Breton 2008).

Comparativement aux cendres de bois analysées dans la littérature (**Tableau 1**), les cendres d'Enerbois sont particulièrement riches en K mais plus pauvres en N et en S (**Tableau 3**). Ces différences peuvent être dues à des différences d'essences de bois (résineux ou feuillus) et/ou de composition des sols sur lesquels les arbres ont poussé (Hébert et Breton 2008). Au Québec, par exemple Hébert et Breton (2008) notaient des teneurs en S dans des cendres

de bois feuillus bien plus élevées (22 g/kg en base humide) que celles reportées dans les cendres de résineux d'Enerbois (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Teneurs en macroéléments totales et extractibles à l'eau des cendres humides d'Enerbois

Macroéléments	Teneurs totales		Teneurs extractibles à l'eau	
	Moyenne (g/kg MS)	CV (%)	Moyenne (g/kg MS)	Valeur relative (% de la teneur totale)
Ca	281.3	2	0.11	0.04
K	67.4	9	24.1	36
Mg	16.5	5	0.0005	< 0.03
P	9.2	9	0.00003	< 0.0003
S	0.77	9	0.55	72
N	0.07	27	-	-

Seule une fraction des macroéléments contenus dans les cendres sont extractibles à l'eau. Nous considérons que les formes solubles dans l'eau sont rapidement et entièrement assimilables par les plantes (Beckett et White, 1964).

Les résultats mettent en évidence que le K des cendres est relativement soluble dans l'eau (36 %, **Tableau 3**), mais que le Ca, le Mg, et surtout le P, le sont peu (0.04, < 0.03 et < 0.0003 % respectivement, **Tableau 3**). Ces résultats sont conformes à ceux de Khanna et al. (1994). Le P est le macroélément généralement le moins disponible dans les cendres (Demeyer et al. 2001) car il est probablement lié aux aluminosilicates ou sous forme de phosphate d'aluminium (Ohno et Erich 1990).

Le S des cendres d'Enerbois est très soluble dans l'eau (72 % du S total est extractible à l'eau, **Tableau 3**). Ce résultat est conforme à ceux de Hébert et Breton (2008) qui ont montré que le soufre se trouvait dans les cendres de bois principalement sous forme de sulfate, facilement assimilable par les plantes. Cependant, les cendres d'Enerbois en possèdent trop peu (0.55 g/kg, **Tableau 3**) pour être considérées comme une source significative de soufre pour les cultures.

Ainsi, les cendres d'Enerbois possèdent une importante quantité de potassium (67.4 g/kg, **Tableau 3**) dont une bonne partie est rapidement assimilable par les plantes (**Tableau 3**). Etiegni et Campbell (1991) et Ohno (1992) ont noté que la disponibilité du K des cendres est identique à celle d'un engrais potassique. Les cendres d'Enerbois pourraient donc être utilisées comme engrais potassique. Par contre, elles ne peuvent être considérées comme source de P, Ca, Mg et S en raison de leurs faibles teneurs extractibles à l'eau en ces éléments.

Teneurs en microéléments

Les cendres d'Enerbois apportent un grand nombre de microéléments (**Tableau 4**). Ces microéléments sont naturellement présents dans le bois et se concentrent dans les cendres lors de son incinération (Hébert et Breton 2008). L'aluminium, le fer et le manganèse sont les plus représentés (**Tableau 4**).

Les cendres d'Enerbois contiennent légèrement plus de Cr et nettement moins de Zn et de Cd que celles mentionnées dans la littérature (**Tableau 1**). La faible concentration en cadmium des cendres humides d'Enerbois est probablement due au fait que cet élément se concentre davantage dans les cendres volantes (Pitman 2006). Les autres microéléments présentent des teneurs proches de celle de la littérature (**Tableau 1**).

Demeyer et al. (2001) considèrent que les cendres contiennent peu de ETM et qu'aux doses nécessaires pour redresser le pH des sols, ces éléments présentent un risque négligeable pour les plantes et l'environnement. Ces auteurs reportent ainsi que ce sont généralement les besoins en amendement ou en potassium qui vont limiter la dose de cendre à épandre et non ces éléments. Ces considérations devraient être transposables aux cendres humides d'Enerbois, dans la

mesure où ces dernières présentent des teneurs totales en ETM inférieures ou du même ordre de grandeur que celles observées dans la littérature spécialisée (**Tableau 1**).

Tableau 4 : Teneurs en microéléments totales et extractibles à l'eau des cendres humides d'Enerbois

Microéléments	Teneurs totales		Teneurs extractibles à l'eau	
	Moyenne (mg/kg MS)	CV (%)	Moyenne (mg/kg MS)	Valeur relative (% de la teneur totale)
Al ¹	17300	7		
Fe ¹	12175	3	< 0.3	< 0.0025
Mn ¹	7550	7	0.16	0.002
Na ¹	1960	4	375	19
Zn ²	205	32	0.08	0.04
B ¹	147	12	21.3	14
Cr ¹	123	17		
Cu ²	114	20	0.05	0.04
Ni ²	56	16		
V ¹	22	12		
Pb ²	17	63	0.02	< 0.05
Co ¹	9	16	< 0.005	< 0.06
As ¹	2	15		
Mo ¹	1	7		
Cd ²	< 0.58	-	< 0.0013	< 0.25
Hg ²	< 0.02	-		

¹: analyses effectuées sur 4 échantillons composites

²: analyses effectuées sur 6 échantillons composites

Comme pour les macroéléments, nous considérons que la fraction soluble dans l'eau des microéléments est représentative de la fraction assimilable par les plantes. Nous considérons donc que c'est principalement cette fraction de l'élément qui sera impliquée dans la phytotoxicité des ETM (Alloway, 1994).

Les éléments traces métalliques sont généralement peu solubles dans la matrice alcaline des cendres (Hébert et Breton 2008). Ceci a été confirmé pour les cendres d'Enerbois par l'analyse de la solubilité de quelques ETM (Co, Mn, Cd, Cu, Pb, Zn et Fe, **Tableau 4**). Ainsi, aucune phytotoxicité due aux ETM n'est attendue à court terme suite à l'application de ces cendres, puisqu'ils se trouvent normalement sous une forme très peu disponible pour les plantes (par exemple, 0.04 % seulement du cuivre total est soluble dans l'eau, **Tableau 4**).

Cette hypothèse est renforcée par le fait que l'application de cendres, en augmentant le pH du sol, est connue pour diminuer la disponibilité des ETM déjà contenus dans le sol (Lindsay 1972; Troeh et Thompson 1993). Il a ainsi été démontré que le Fe, le Mn, le Zn et le Cu solubles contenus dans le sol diminuaient peu de temps après l'application de cendres et que les teneurs en ces éléments dans les cultures baissaient également (Clapham et Zibilske 1992; Krejzl et Scanlon 1996). Par ailleurs, les études d'épandage de cendres aux doses agronomiques menées au Québec ne rapportent pas de problèmes à court terme dus aux ETM sur la qualité des sols et des cultures (Krejzl 1995), sur la qualité de l'eau souterraine (Williams et al. 1995) et sur la faune (Sweeney et Jones 1995).

Cependant, sur le long terme, la question de la phytotoxicité des cendres demeure en raison de la possible réacidification du sol (Demeyer et al. 2001). Cependant, un tel risque est peu probable en sol agricole, car pour éviter toute perte de rendement, l'agriculteur intervient généralement avant que le sol ne s'acidifie trop. Ainsi selon Hébert et Breton (2008), les risques relatifs aux ETM dans les cendres sont considérés comme négligeables à court et moyen terme et improbables à long terme lorsque le chaulage est pratiqué aux doses agronomiques.

Valorisation par épandage direct sur les sols agricoles

Un effet chaulant combiné à un effet fertilisant

Les cendres humides d'Enerbois sont fortement basiques, très riches en K total et en K soluble dans l'eau (**Tableaux 2 et 3**). Ces trois propriétés sont parfaitement stables d'un échantillon à l'autre. Les cendres humides d'Enerbois présentent donc les caractéristiques d'un très bon amendement basique et d'un engrais potassique. Ces cendres pourraient donc occuper une place actuellement vacante dans le marché suisse des engrais: celle des amendements basiques contenant du potassium (**Tableau 9, Annexe 1**).

Ces propriétés chaulantes et fertilisantes des cendres devraient intéresser tout particulièrement les betteraviers. La betterave est en effet, une culture exigeante en potassium (368 kg/ha) et alcalinophiles (**Tableau 5**). De plus, en cas de chaulage avant betterave, l'application d'un engrais borique est généralement préconisée pour pallier la baisse de la disponibilité du bore (Agridea 2011a). Cependant, comme les cendres d'Enerbois contiennent une quantité non négligeable de bore (147 mg de B/kg de cendres dont 14 %, se trouvent sous forme extractible à l'eau, **Tableau 4**), une grande partie de ces besoins en cet élément peuvent être couverts par les cendres. Ceci rend les cendres encore plus attractives pour les betteraviers.

Les cendres humides d'Enerbois devraient également intéresser la filière de l'agriculture biologique, car la cendre est un des engrais les plus efficaces et les moins dispendieux pouvant être utilisés en agriculture biologique comme source de potassium (Hébert et Breton 2008).

L'apport de cendres peut, toutefois, occasionner certains effets secondaires dont il est important de se prévenir. Ainsi, comme pour tous les produits chaulant (Agridea 2011a), l'apport de cendre sera déconseillé : (i) durant les 12 mois qui précèdent une culture de pommes de terre afin de minimiser les risques de gale, (ii) avant ou après l'application d'engrais ammoniacaux pour limiter la volatilisation du N, et (iii) avant la culture de tabac. De manière générale, les cendres devront être utilisées avec précaution sur toutes les cultures acidophiles (**Tableau 5**).

Tableau 5 : Exigences des cultures en termes de pH (Soltner 1976)

Cultures acidophiles	Cultures neutrophiles	Culture alcalinophiles
Seigle	Blé	Orge
Pomme de terre	Maïs	Betterave
Sarrasin	Avoine	Luzerne
Prairies de graminées	Navet	Sainfoin
Lupin	Trèfle	Haricot
Lin	Topinambour	
Tabac		

Des estimations de besoin en cendres pour le chaulage des terres agricoles suisses sont données dans le **tableau 8 de l'annexe 1**. Les quantités de K apporté lorsque les cendres répondent aux besoins de chaulage sont également reportées dans ce tableau. Pour les terres assolées des grandes cultures, la dose de cendres humides d'Enerbois nécessaire pour corriger le pH des sols acides ($\text{pH} < 6.2$) varie entre 2.63 et 9.21 t de MF/ha selon les caractéristiques du site (pH et taux d'argile). Les quantités de K apportées avec ces doses de cendres varient de 171 à 599 kg K/ha. Les cendres d'Enerbois étant riches en potassium, ces quantités de K sont très importantes et devront être comptabilisées dans le plan de fumure afin d'éviter tout dépassement des normes potassiques. Sur certaines cultures (cultures peu exigeantes en K) et/ou certains sols (sols fortement acides), ce seront d'ailleurs, avant tout, les normes potassiques qui limiteront les apports en cendres et non les besoins en CaO. Ce sera par exemple le cas pour la culture d'orge, qui présente des besoins en engrais potassique de seulement 98 kg/ha (Sinaj et al. 2009).

Aspect réglementaire

Les cendres de bois ne sont actuellement pas clairement mentionnées dans la liste officielle des engrais (Ordonnance sur les engrais, OEng, RS.916.171, 2011). Cependant, elles sont considérées par l'OFAG comme engrais de recyclage (**Annexe 2**) et doivent donc répondre aux mêmes exigences que ces derniers. Les engrais de recyclages sont soumis à annonce obligatoire pour leur mise sur le marché et doivent respecter les teneurs maximales en éléments traces métalliques (**Tableau 6**) définies dans l'annexe 2.6 de l'ORRChim (RS.814.81, 2011).

Les teneurs moyennes des cendres d'Enerbois ne répondent pas aux critères définis par l'OFAG pour le Cu et le Ni (**Tableau 6**). Quatre échantillons sur six (S10, S11, S18 et S19) dépassent le seuil en Cu et tous les échantillons excèdent la teneur maximale autorisée en Ni (**Tableau 6**). Les teneurs moyennes en Zn, Cd, Pb et Hg sont par contre toujours largement inférieures aux seuils fixés par l'OFAG. **Ainsi, sur la base des teneurs en Cu et Ni, l'épandage des cendres humides d'Enerbois sur des terres agricoles n'est actuellement pas autorisé en Suisse.** Une analyse des teneurs en Cu, Zn, Cd, Pb, Ni et Hg des cendres volantes, permettrait de déterminer si un mélange avec ces dernières abaisserait ces seuils et autoriserait l'épandage de cendres en agriculture.

Tableau 6: Variabilité dans les cendres humides d'Enerbois des teneurs totales en ETM soumis à restrictions

ETM	Teneurs totales								Seuil maximal autorisé en Suisse (mg/kg MS)
	S10	S11	S12	S13	S18	S19	Moyenne	CV	
	mg/kg MS							(%)	
Cuivre	101	144	100	95	132	109	114	17	100
Zinc	184	195	192	142	333	185	205	32	400
Cadmium	0.58	<	<	<	0.69	0.68	< 0.58	-	1
Plomb	21	16	37	11	7	10	17	63	120
Nickel	55	56	48	49	73	56	56	16	30
Mercure	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	< 0.02	-	1

Les teneurs en Cd, Ni, Cu et Zn fixées par l'OFAG font partie des teneurs les plus strictes de l'union européenne. Des détails sur la réglementation en vigueur dans quelques pays de l'Union européenne (UE) sont donnés en **Annexe 3**. Les teneurs seuils en Ni fixées par les pays membres de l'UE (cas de l'Allemagne, l'Autriche et la Finlande) sont toutes supérieures (entre 80 et 100 mg/kg, **Annexe 3**) au seuil utilisé en Suisse (30 mg/kg, **Tableau 6**). Concernant le cuivre, seule l'Allemagne fixe un seuil inférieur (70 mg/kg, **Annexe 3**) à celui établi par l'OFAG (100 mg/kg, **Tableau 6**). Les teneurs maximales en cuivre autorisées dans l'UE varient généralement entre 250 et 600 mg/kg (**Annexe 3**).

Certains pays de l'UE élargissent leurs restrictions à d'autres ETM. Ainsi, des teneurs seuils en As sont données en Allemagne, en Autriche et en Finlande. La Finlande établit également des valeurs limites pour le V, le Co et le Mo. Les cendres d'Enerbois ne dépassent, toutefois, jamais ces seuils en As, V, Co et Mo. Ainsi, sur la base des teneurs en éléments traces métalliques, l'épandage des cendres sur les sols agricoles serait possible dans la plupart des pays de l'UE, à l'exception de l'Allemagne pour le cuivre.

Notons enfin que pour éviter les risques de phytotoxicité sur le long terme, la France a choisi de fixer des flux maximaux en ETM (en g/ha/an) plutôt que des teneurs maximales (en mg/kg de MS) (**Annexe 3**). Cette option semble intéressante dans la mesure où la quantité de ETM apportée sur les sols agricoles est fonction de la teneur de l'engrais en ETM, mais aussi de la dose d'engrais apportée. Ainsi, l'établissement de flux maximaux devrait mieux prévenir l'accumulation de ETM dans le sol que celui de teneurs seuils. D'autre part, des teneurs seuils excluent l'utilisation d'engrais de recyclage qui pourtant, utilisés occasionnellement et à des doses modérées, présentent des potentialités agronomiques intéressantes et des risques environnementaux négligeables (Demeyer et al. 2001). Enfin, des flux maximaux en N, P, K sont déjà fixés en Suisse dans les prestations écologiques requises (Ordonnance sur les paiements directs versé dans l'agriculture, RS 910.13). Étendre cette logique aux ETM serait donc cohérent et envisageable.

Valorisation par co-compostage

Les cendres de bois peuvent également être utilisées comme activateur de compost. En effet, l'apport d'éléments basiques stimule l'humification en augmentant la population et l'activité microbienne (FAO 2005). Cette propriété est particulièrement intéressante lorsque le compost est constitué de résidus végétaux riches en lignine et lents à dégrader. Les cendres peuvent également enrichir le compost en macro- et microéléments (notamment en potassium).

D'un point de vue quantitatif, les potentialités qu'offre cette voie de valorisation sont vraisemblablement moindres que celles de la voie de l'épandage direct. Cependant, cette voie demeure actuellement la seule non interdite en Suisse. Pour un épandage du compost sur les terres agricoles, la composition finale du compost ne doit toutefois pas excéder les teneurs en ETM fixées par l'OFAG. Celles-ci sont les mêmes que celles fixées pour les cendres (**Tableau 6**). La valorisation en co-compostage est également autorisée sous certaines conditions dans d'autres pays de l'union Européenne : Italie, Allemagne, France et Autriche (Mousseau 2007).

Conclusions et perspectives de recherches

Cette étude visait à caractériser la composition chimique des cendres humides de la centrale Enerbois et d'en déduire les valorisations agronomiques possibles. Nous avons ainsi constaté que les cendres d'Enerbois présentent un potentiel certain en agriculture de par leur effet chaulant combiné à un effet fertilisant potassique, mais que leurs teneurs totales en cuivre et en nickel dépassent les seuils autorisés par l'OFAG.

Les effets de l'épandage de cendres sur les propriétés des sols et des cultures n'ont pas été quantifiés dans cette étude. Or, pour justifier ou lever une restriction de l'utilisation des cendres en agriculture, l'analyse de ces effets à court et à long terme est nécessaire. Par ailleurs, ce travail est indispensable pour la promotion des cendres dans le milieu agricole.

Ainsi, la station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW se propose de poursuivre la présente étude en analysant les effets à court terme des cendres sur les propriétés du sol (chimiques, organiques et biologiques) et la production des cultures agricoles. ACW cherchera ainsi à répondre aux questions suivantes:

- (i) Quelle est l'efficacité des cendres pour redresser le pH des sols comparativement à celle des amendements basiques classiquement utilisés en Suisse ? En effet, les produits chaulant agissent plus ou moins efficacement en fonction de leur composition et de la forme chimique des éléments. Par exemple, Hébert et Breton (2008) ont noté que les cendres de bois québécoises réagissaient plus rapidement que la chaux agricole pour relever le pH des sols en raison de leur contenu en ions hydroxydes plutôt qu'en ions oxydes.
- (ii) Quels sont les effets des cendres sur la teneur et la disponibilité des macro- et microéléments dans un mélange sol-cendre ? Il s'agirait surtout de vérifier que l'application de cendres ne conduit pas à une accumulation significative de ETM dans le sol. En effet, les cendres apportent indéniablement des ETM au sol, mais ces quantités peuvent être négligeables comparativement aux teneurs déjà contenues dans les sols suisses. Par ailleurs, pour évaluer les risques phytotoxiques, il est nécessaire de déterminer sous quelles formes se trouvent les ETM dans le mélange sol-cendre.
- (iii) Quels sont les effets des cendres sur la teneur en matière organique et l'activité biologique des sols ? La teneur en matière organique est un paramètre clé de la fertilité des sols. Or les cendres contiennent peu de matière organique et leur application peut réduire les stocks de matière organique déjà contenus dans le sol en stimulant l'activité microbienne et la minéralisation des sols (Demeyer et al. 2001).
- (iv) Quels sont les effets des cendres sur la production des cultures et la qualité des récoltes ? L'augmentation de la croissance ou du rendement sous l'effet des cendres a été reportée sur de nombreuses plantes cultivées : avoine, blé d'hiver, fétuque, épinard, pois, maïs, peuplier et soja (Clapham et Zibilske 1992; Erich 1991; Erich et Ohno 1992; Etiegni et al. 1991a; Huang et al. 1992; Krejzl et Scanlon 1996; Muse et Mitchell 1995). Un effet positif des cendres sur le rendement des cultures grâce à l'amélioration générale des propriétés chimiques, organiques et biologiques du sol est donc attendu. Cependant, il est important de vérifier que les ETM apportés par les cendres ne contrebalancent pas ces effets et ne s'accumulent pas dans les récoltes, ce qui dégraderait leur qualité.
- (v) Quelle est la valeur fertilisante en potassium des cendres ? En effet, bien que nous ayons constaté que le K contenu dans les cendres était facilement extractible à l'eau (**Tableau 3**), la totalité du K apporté par les cendres n'est pas pour autant disponible pour les cultures. Pour que les cendres puissent remplacer efficacement les engrais potassiques chimiques, il est donc important de comparer l'effet fertilisant des cendres à celui de ces engrais.

Pour mener à bien ces recherches, les expériences seraient menées durant une année, en incubation et en vases de végétation sur deux ou trois cultures témoins alcalinophiles et/ou exigeantes en K (betterave, ray-grass et maïs par

exemple) et sur deux types de sol de pH et minéralogie différents (sol à pH neutre et sol à pH acide). Les effets sur le sol et la plante de deux ou trois doses de cendres, d'un amendement basique et d'un engrais potassique seraient alors testés.

Pour être force de proposition face aux pouvoirs publics, une étude à moyen terme (3-5 ans et plus), au champ, viendrait idéalement compléter cette étude à court terme.

Bibliographie

- Agridea. 2011a. Chaulage - généralité. In: Grandes cultures. Fiches techniques. Agridea.
- Agridea. 2011b. Chaulage - pratique. In: Grandes cultures. Fiches techniques. Agridea.
- Alloway B.J. 1994. Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic publishers. 384p.
- Beckett, P.H.T. & White, R.E., 1964. Studies on the phosphate potentials of soils. Part III: The pool of labile inorganic phosphate. *Plant and Soil* **21**, 253-282.
- Clapham, W. M., et L. M. Zibilske. 1992. Wood ash as a liming amendment. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **23**:1209-1227.
- Collaud, G. 2010. Acidification des sols - état des lieux en Suisse Romande. Cours Agridea N°1574: Chaulage et fertilité du sol. 24 juin 2010, Yverdon-les Bains, Suisse.
- Comifer. 2009. Le chaulage. Des bases pour le raisonner. Edited by Book Emissaire.
- Demeyer, A., J. C. Voundi Nkana, et M. G. Verloo. 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. *J. Environ. Qual.* **20**:576-581.
- Erich, M. S., et T. Ohno. 1992. Phosphorus availability to corn from wood ash amended soils. *Water Air Soil Pollut.* **64**:475-485.
- Etiegni, L., et A. G. Campbell. 1991. Physical and chemical characteristics of wood ash. *Biores. Technol.* **37**:173-178.
- Etiegni, L., A. G. Campbell, et R. L. Mahler. 1991a. Evaluation of wood ash disposal on agricultural land. I. Potential as a soil additive and liming agent. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **22**:243-256.
- FAO. 2005. Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. <http://www.fao.org/docrep/008/y5104f/y5104f06.htm>.
- Hébert, M., et B. Breton. 2008. Recyclage agricole des cendres de bois au Québec- État de la situation, impacts et bonnes pratiques agro-environnementales. *Agrosolutions* **19** (2):18-33.
- Huang, H., A. G. Campbell, R. Folk, et R. L. Mahler. 1992. Wood ash as a soil additive and liming agent for wheat. *Field studies. Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **23**:25-33.
- Khanna, P. K., R. J. Raison, et R. A. Falkiner. 1994. Chemical properties of ash derived from Eucalyptus litter and its effects on forest soils. *For. Ecol. Management* **66**:107-125.
- Krejsl, J. 1995. The effect of wood ash on wheat and green pea yields. In: Symposium on land application of wood-fired and combination boiler ashes. 1995 NCASI meetings. Asheville, North Carolina. August 2-3. p. 22-23.
- Krejsl, J. A., et T. M. Scanlon. 1996. Evaluation of beneficial use of wood-fired boiler-ash on oat and bean growth. *J. Environ. Qual.* **25**:950-954.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Edited by p. Academic. London.
- Mousseau, S. 2007. État de l'art de la réglementation européenne sur la valorisation des déchets de bois et des cendres de bois. ADEME. 32p. <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=52295&p1=00&p2=08&ref=17597>.
- Muse, J. K., et C. C. Mitchell. 1995. Paper mill boiler-ash and lime byproducts as soil liming materials. *Agron. J.* **87**:432-438.
- Ohno, T. 1992. Neutralization of soil acidity and release of phosphorus and K by wood ash. *J. Environ. Qual.* **21**:433-438.
- Ohno, T., et M. S. Erich. 1990. Effect of wood ash application on soil pH and soil test nutrient levels. *Agric. Ecosyst. Environ.* **32**:223-239.

Pitman, R. M. 2006. Wood ash use in forestry - a review of the environmental impacts. *Forestry* 79 (5):563-588.

RS.814.81. 2011. Ordonnance sur la réduction des risques liés à l'utilisation de substances, de préparation et d'objets particulièrement dangereux (Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques, ORRChim). Du 18 mai 2005 (Etat le 1^{er} juillet 2011). 116p.

RS.916.171. 2011. Ordonnance sur la mise en circulation des engrais (Ordonnance sur les engrais, OEng). Du 10 janvier 2001 (Etat le 1^{er} juillet 2011).

Sinaj, S., W. Richner, R. Flisch, et R. Charles. 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF-GCH). *Revue suisse d'agriculture* 41 (1):1-98.

Soltner, D. 1976. Les bases de la production végétale. Tome I: Le sol. Edited by S. e. t. agricoles.

Sweeney, J. R., et P. D. Jones. 1995. Heavy metal whole body burdens of fauna inhabiting mill as recycling sites in southeastern coastal plain forests. In: Symposium on land application of wood-fired and combination boiler ashes. 1995 NCASI meetings. Asheville, North Carolina. August 2-3. p. 39-40. .

Troeh, F. R., et L. M. Thompson. 1993. *Soils and Soil Fertility*, fifth ed. Oxford University Press, Oxford.

Vance, E. D. 1996. Land application of wood-fired and combination boiler ashes: an overview. *J. Environ. Qual.* 25:937-944.

Williams, T. M., B. R. Smith, et C. A. Hollis. 1995. Soil and water chemistry following boiler bottom ash application. In: Symposium on land application of wood-fired and combination boiler ashes. 1995 NCASI meetings. Asheville, North Carolina. August 2-3. p. 37-38.

Annexes

Annexe 1: Besoins de chaulage en Suisse

Les sols acides sont très présents en Suisse alémanique comme en Suisse romande (**Tableau 7**). En Suisse romande, ils représentent en moyenne 45 % des sols agricoles et 58 % des sols des prairies permanentes (Collaud 2010). Le Tessin, Fribourg et Neuchâtel sont les cantons qui comportent le plus de terres acides toutes cultures confondues alors que le canton de Genève est celui qui en possède le moins (Collaud 2010).

Tableau 7: pH des sols de grandes cultures et de prairie en Suisse (Collaud 2010)

Classe de pH-H ₂ O	Suisse alémanique	Suisse romande
	_____ En % du nombre de cas _____	
< 5.9 : acide	14.0	7.9
5.9-6.7 : faiblement acide	52.3	42.7
6.8-7.2 : neutre	17.3	22.1
7.3-7.6 : faiblement alcalin	11.0	16.7
> 7.6 alcalin	5.4	10.6
Total des sols acides	66.3	50.6

Les terres acides suisses présentent des besoins de chaulage qui sont actuellement couverts par des amendements basiques de diverses natures (**Tableau 8**). Ces amendements varient de par leur prix et leur composition chimique.

Tableau 8: Amendements basiques utilisés en Suisse (Agridea 2011b)

Produit	Teneur en CaO (%)	Prix en Fr/t de produit	Prix pour un apport de 2 t de CaO	Remarque
Chaux d'Aarberg	32	26	160	Sous-produit de l'extraction du sucre de betterave. Contient du Mg et du P. Semoir à chaux ou épandeuse à disque nécessaire
Chaux de gravière	18	25	280	Sous-produit des gravières. Épandage inclus dans le prix (machines spéciales).
Chaux humide	48	150	540	
Chaux d'Omya	55	150	550	
Chaux de la Sarraz	53	150	570	
Agro-Kalc	55	170	620	
Chaux filler (précichaux)	54	172	640	Épandage inclus dans le prix (machines spéciales)
Oxyfertil 94	94	310	660	
Brinocal	54	180	670	Épandage inclus dans le prix (machines spéciales)
Optiflor 55/35	55	270	980	Contient du Mg
Optiflor 80/10	52	260	1000	Contient du Mg
Chaux vive magnésienne	60	395	1320	Contient du Mg
Chaux granulée 80/10	45	260	1490	Contient du Mg
Dolomie 55/35	31	300	2160	Contient du Mg
Physiomax	39	450	2310	Contient du Mg

Puisque les cendres seraient un substitut des amendements basiques, leur valeur peut être estimée en fonction du prix de vente pour ces matières concurrentes. Un prix de vente de 31 Fr/t de produit semble raisonnable. Ce tarif permet d'atteindre un prix par apport de CaO équivalent à celui de la Chaux d'Aarberg (produit le plus compétitif actuellement disponible sur le marché).

La Chaux d'Aarberg est un exemple intéressant de valorisation réussie d'un amendement de recyclage. En effet, la chaux d'Aarberg est un sous-produit de l'extraction du sucre de betterave qui est largement utilisé par les agriculteurs suisses comme amendement basique en raison de son coût modique et de sa teneur en P et en Mg (0.5 % et 0.6 % respectivement, <http://www.ricoter.ch/fr/inhalte/ricokalk/information.php>). Notons, que les cendres d'Enerbois présentent une teneur en CaO proche de celle de la chaux d'Aarberg (39 % en base sèche) et qu'elles sont moins riches en Mg et en P, mais apportent du K en quantité non négligeable et de nombreux microéléments.

En utilisant les doses de CaO recommandées en Suisse dans les données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (Sinaj et al. 2009) et en prenant une teneur en CaO de 393.5 g/kg de MS pour les cendres d'Enerbois (**Tableau 3**), nous pouvons estimer les besoins en cendres humides d'Enerbois pour redresser le pH des sols suisses. Ces doses sont indiquées dans le **tableau 9** et varient en fonction du type de sol (pH, teneur en argile et en humus) et de la culture implantée. Les doses de cendres sont exprimées en t de matière sèche (MS)/ha.

Tableau 9 : Doses de cendres humides à apporter pour redresser le pH des sols suisses. Les valeurs entre parenthèses indiquent les quantités de K (kg/ha) apportées avec les différentes doses.

Taux d'argile, Taux d'humus	pH_H ₂ O du sol	Chaulage de correction Dose de cendre (t de MS/ha)		Chaulage d'entretien Dose de cendre tous les 4-5 ans (t de MS/ha)
		Terre assolée et prairie temporaire	Prairie permanente	Prairie permanente
< 10 % d'argile	< 5.3	5.1 (343)	2.5 (171)	-
	5.3-5.8	3.8 (257)	1.9 (129)	1.3-1.8 (86-120)
	5.9-6.2	2.5 (171)	1.3 (86)	1.3-1.8 (86-120)
	> 6.2	0.0 (0)	0.0 (0)	-
10-30 % d'argile	< 5.3	7.6 (514)	3.8 (257)	-
	5.3-5.8	6.4 (428)	3.2 (214)	2.0-2.5 (137-171)
	5.9-6.2	5.1 (343)	2.5 (171)	2.0-2.5 (137-171)
	> 6.2	0.0 (0)	0.0 (0)	-
> 30 % d'argile	< 5.3	8.9 (600)	5.1 (343)	-
	5.3-5.8	7.6 (514)	4.4 (300)	2.3-3.0 (154-206)
	5.9-6.2	6.4 (428)	3.8 (257)	2.3-3.0 (154-206)
	> 6.2	0.0 (0)	0.0 (0)	-
> 10 % d'humus	-	0.0 (0)	0.0 (0)	-

Annexe 2 : Classification des cendres de bois dans la liste officielle des engrais

Maltas Alexandra ACW

De: Foresti Nicolas BLW
Envoyé: lundi 11 juillet 2011 11:46
À: Maltas Alexandra ACW
Cc: Bovigny Karin BLW
Objet: Utilisation de cendre de bois en agriculture

Madame,

Les cendres de bois entrent dans la catégories des engrais de recyclage. Une autorisation est nécessaire afin de pouvoir les mettre en circulation. Pour cela, l'entreprise qui souhaite distribuer ce produit doit nous transmettre une demande d'autorisation pour la mise en circulation d'un engrais (vous trouverez le formulaire en haut à droite de la page suivante : <http://www.blw.admin.ch/themen/00011/00076/index.html?lang=fr>). Un projet d'étiquette doit être joint au dossier.

Les cendres de bois présentent souvent des teneurs en métaux lourds supérieures à celles définies dans l'annexe 2.6 de l'ordonnance sur la réduction des risques liés à l'utilisation de substances, de préparations et d'objets particulièrement dangereux (ORRChim), une analyse sera donc nécessaire afin de vérifier ces valeurs.



ORRChim
814.81.pdf

Nous restons à votre disposition pour tout renseignement supplémentaire.

Meilleures salutations

Nicolas Foresti

Département fédéral de l'économie DFE
Office fédéral de l'agriculture OFAG
Secteur Engrais

Mattenhofstrasse 5, CH-3003 Berne
Tél.: +41 31 323 83 69
Fax: +41 31 322 26 34
nicolas.foresti@blw.admin.ch
www.blw.admin.ch

Annexe 3 : Réglementations sur l'épandage agricole des cendres dans quelques pays européens et au Québec

Les cendres humides d'Enerbois ne peuvent pas être directement épandues sur les sols agricoles suisses. Il est toutefois possible de les distribuer dans d'autres pays de l'Union européenne (UE). La conformité des cendres d'Enerbois aux exigences de quelques pays de l'UE est analysée ci-dessous. Les informations réglementaires utilisées sont issues du travail de Mousseau (2007) et ont pu évoluer depuis.

En Europe, les cendres sont généralement considérées comme des déchets, et font l'objet de valorisation au cas par cas. De manière générale, l'épandage sur sol forestier est soumis à une réglementation plus souple que l'épandage sur sol agricole. L'épandage sur sol forestier est ainsi bien répandu dans les pays nordiques. En Suède, environ 15000 t/an de cendres sont épandues en forêt.

L'**Espagne**, la **Pologne**, le **Royaume-Uni** et la **Suède** ne possèdent pas de réglementation spécifique aux cendres de bois. En l'absence de réglementation, l'épandage sur sols agricoles et forestiers des cendres est possible indépendamment de la qualité de ces dernières. En Pologne toutefois, les cendres doivent recevoir un agrément (loi sur les engrais et la fertilisation du 26 juillet 2000) pour être utilisées comme engrais.

En **Italie** l'épandage direct sur les sols n'est pas autorisé, mais les cendres de bois peuvent être incorporées dans la fabrication des engrais si le bois ne contient pas de substances dangereuses (décret du 5/2/98). Cependant, cette voie est purement théorique, les fabricants d'engrais étant généralement réticent à les introduire dans leur fabrication de par leur variabilité en quantité et en composition.

En **Finlande**, des valeurs limites en ETM sont fixées pour les fertilisants utilisés en agriculture (**Tableau 10**). L'utilisation des cendres en agriculture n'est généralement pas possible, car ces dernières dépassent souvent la teneur limite en Cd autorisée. Par contre, les seuils de teneurs en ETM ne sont pas applicables à l'épandage forestier. Ainsi en Finlande, comme en Suède, la principale voie de valorisation des cendres est l'épandage en forêt.

En **Allemagne**, l'épandage agricole et forestier est autorisé pour les cendres sous foyer issues de la monocombustion de matières végétales non traitées (vierges et bois de rebut de catégorie A1). L'épandage forestier n'est soumis qu'à une obligation en matière de teneur minimale en nutriments. Par contre, pour un épandage agricole, les cendres doivent également ne pas dépasser certains seuils en ETM (**Tableau 10**).

En **Autriche**, pour une valorisation en agriculture, en horticulture et en foresterie, les cendres doivent respecter des seuils limites en termes de teneurs en ETM (**Tableau 10**). Dans certaines régions, des spécifications complémentaires sont prévues.

Au **Québec**, les cendres sont largement utilisées comme matière fertilisante. Sur les 300 000 t générées annuellement, près de la moitié sont valorisées comme engrais dont 80 000 t pour un usage agricole (Hébert et Breton 2008). Les risques relatifs aux ETM sont considérés comme négligeables par le gouvernement canadien, et les doses agronomiques sécuritaires. En raison du contenu variable des cendres en ETM, leur recyclage agricole fait toutefois l'objet d'un encadrement (http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/critere/guide-mrf.pdf). Les seuils maximaux autorisés varient en fonction des cultures et de leurs usages (**Tableau 10**).

Tableau 10: Teneurs maximales en ETM (mg /kg MS) autorisées en Europe et au Québec pour l'épandage des cendres sur sols agricoles et forestiers

	Italie, Royaume- Uni, Pologne, Suède	Allemagne		Autriche	Finlande		Québec	
	Tous types d'épandage ¹	Épandage agricole	Épandage forestier	Épandage agricole ou forestier	Épandage agricole	Épandage forestier	Épandage agricole	Épandage forestier ou cultures fourragères
As	-	40	-	20	50	-	13	41
Pb	-	150	-	100	150	-	150	300
Cd	-	1.5	-	8	3	-	3	10
Cr	-	2	-	250		-	210	1060
Ni	-	80	-	100	100	-	62	180
Hg	-	1	-		2	-	0.8	4
Th	-	1	-			-		
Cu	-	70	-	250	600	-	400	1000
Zn	-	1000	-	1500	1500	-	700	1850
V	-	-	-	100		-		
Co	-	-	-	100		-	34	150
Mo	-	-	-	20		-	5	20
Se	-	-	-			-	2	14
B	-	-	-			-		

¹ : Absence de réglementation

En **France**, les cendres doivent être homologuées pour être mises sur le marché comme matière fertilisante (agricole ou forestière). Cette procédure est longue et fastidieuse. Pour homologuer des cendres, le producteur doit montrer que son produit « a fait l'objet d'un examen destiné à vérifier son efficacité et son innocuité à l'égard de l'homme, des animaux et de son environnement, dans des conditions d'emploi prescrites et normales ». Des critères d'innocuité en éléments traces métalliques sont ainsi définis (**Tableau 11**). Ces critères définissent des flux maximaux (g/ha) et non des teneurs maximales (g/kg de MS). Ces flux sont calculés sur la base des doses préconisées par le producteur de cendres.

Tableau 11 : Critères français d'innocuité en ETM définis pour l'homologation des matières fertilisantes

ETM	Flux maximaux annuels (moyenne sur 10 ans) (g/ha)	Flux maximaux par apport (g/ha)
As	90	270
Cd	15	45
Cr	600	1800
Cu	1000	3000
Hg	10	30
Ni	300	900
Pb	900	2700
Se	60	180
Zn	3000	9000

Réglementairement, c'est l'homologation qui prime sur la normalisation. Cependant, « sur le marché français, dans la mesure où les produits sont bien connus et fabriqués par plusieurs producteurs en quantités importantes, la législation permet par dérogation d'utiliser des normes rendues d'application obligatoire pour mettre les produits sur le marché en lieu et place de l'homologation (www.celac.fr) ». Ainsi, les cendres peuvent théoriquement rentrer dans le cadre de la norme NF U 42 001 dans la catégorie « **engrais composés P, K** » avec la dénomination « cendres végétales ». En

termes de éléments traces métalliques, aucune valeur seuil de concentration et/ou de flux n'est identifiée. Cependant, pour bénéficier de cette norme, les cendres doivent respecter des teneurs minimales en N, P et K ($N + P_2O_5 + K_2O > 7\%$ de MF ; $P_2O_5 > 2\%$ de MF et $K_2O > 5\%$ de MF). La plupart des cendres de bois, dont celles d'Enerbois, ne répondent pas à ces critères.

Post-scriptum du 27 mai 2013

Ce post-scriptum apporte des éléments nouveaux concernant le chapitre « valorisation par co-compostage ».

La qualité du produit final (compost) doit respecter les valeurs limites en polluant de l'annexe 2.6 l'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim, RS. 814.81). De plus, les exploitants d'installations de compostage ont le devoir, au moment de la réception des matières premières, de contrôler si celles-ci sont compostables. Cela implique le respect des méthodes de transformation de l'ordonnance concernant l'élimination des sous-produits animaux (OESPA, RS. 916.441.22) et des valeurs limites de l'ORRChim. Il n'existe actuellement pas de document officiel spécifiant les intrants autorisés pour les installations de compostage ou de méthanisation. Toutefois, l'OFAG, en collaboration avec l'OFEV, L'OVF, L'OFEN, les cantons et la branche, a établi des recommandations, qui ont été mises à jour le 19.12.2012 dans « la liste des intrants pour les installations de compostage et de méthanisation » (<http://www.blw.admin.ch/themen/00011/00076/index.html?lang=fr>). Les cendres de bois, ne figure pas sur cette la liste. Or si un substrat ne figure pas sur la liste, il n'est, selon l'autorité, pas approprié pour le compostage (ou la méthanisation). Le substrat n'est pour autant pas interdit. Une demande peut être adressée à l'OFAG qui examinera avec une équipe d'experts si le substrat peut être utilisé pour le compostage (ou la méthanisation). Si tel est le cas, son utilisation sera approuvée et ce dernier sera ajouté à la liste ci-dessous.

