



Retour de cendres de bois en forêt : **Cas de la Suède et du Land de Bade-Wurtemberg**

Rapport de la **Convention de recherche n° 2013.27** **entre le GIP ECOFOR et l'INRA de Nancy**

Claudine Richter, coordinatrice, ONF département R&D

Septembre 2014

Table des matières

1	Mission réalisée en Suède du 29/10 au 01/11/2013	4
1.1	Personnes rencontrées.....	4
1.2	Missions des organismes.....	4
1.3	Eléments de contexte.....	5
1.4	Surfaces forestières concernées par l'épandage de cendres, coûts et financement	6
1.5	Quels sont les freins au développement des épandages en forêt ?	7
1.6	Origine, qualité et conditionnement des cendres recyclées.....	8
1.7	Réalisation des épandages (matériels, quantités.....)	11
1.8	Références bibliographiques des principaux guides mentionnés	12
2	Mission réalisée dans le Land de Bade-Wurtemberg, 23/04/13.....	13
2.1	Personne rencontrée.....	13
2.2	Missions des organismes.....	13
2.3	Eléments de contexte.....	13
2.4	Evolution de la problématique « épandage de cendres en forêt ».....	14
2.5	Les travaux de R&D menés sur les cendres.....	15
2.6	Origine, qualité, conditionnement des cendres de bois – vers la mise en place d'une filière ? 17	
2.7	Surfaces cibles pour les épandages de mélange, coûts et financement.....	18
2.8	Réalisation des épandages et contrôle qualité des mélanges	19
2.9	Référence bibliographiques	19
	Annexe : Questionnaire appliqué en Suède & éléments clés des entretiens.....	21

Citation :

Rapport de la Convention de recherche n° 2013.27 entre le GIP ECOFOR et l'INRA de Nancy. Retour de cendres de bois en forêt. Cas de la Suède et du Land de Bade-Wurtemberg. Coordination Richter (C.) ONF, Gibaud (G.), Saint-André (L.), Richter (C.), Bernd (Z.). 2014. 22 p.

Introduction

Ce travail s'inscrit dans le projet RESOBIO – *Gestion des REmanents forestiers : préservation des SOLs et de la BIOdiversité* –, financé par l'ADEME et le Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt. Il vise à éclairer les acteurs de la filière forêt-bois et les pouvoirs publics sur la manière dont quelques pays étrangers traitent la question du recyclage des cendres de bois en forêt. L'usage des cendres peut être envisagé pour restaurer la fertilité des sols ou pour remédier à des prélèvements accrus de biomasse. Enfin, ce rapport fournit des références expérimentales aux acteurs français dans ce domaine.

Il s'agit notamment de documenter et d'analyser :

- les motivations du recyclage de cendres : restauration de sols dégradés, compensation des exportations d'éléments minéraux du fait de récolte accrue, augmentation de la production,
- le contexte des mises en œuvre, notamment la nature des sols, des peuplements,...
- le niveau actuel, les freins et les leviers d'une telle pratique,
- le contenu des guides techniques et l'encadrement réglementaire : recommandations sur la forme et composition des cendres, doses, périodes d'apport...
- les filières d'épandage et des données de coûts,
- la nature des projets de R&D, et particulièrement les dispositifs et études expérimentaux pour l'évaluation des impacts (croissance, biodiversité, eau).

Le travail a reposé sur :

- une revue bibliographique (abondante en ce qui concerne les pays scandinaves),
- des échanges de courriels avec divers contacts identifiés,
- deux tournées réalisées respectivement en Allemagne et Suède, pays pratiquant des épandages de cendres en forêt.

La partie bibliographique (y compris les contacts par courriels) de ce travail a été restituée dans le rapport final du projet RESOBIO¹ (Landmann et Nivet, 2014), sous la forme de deux contributions :

- chapitre 3, partie 3 : synthèse sur « *l'apport de cendres, une voie possible de compensation à l'exportation accrue d'éléments* » (pages 36-42),
- rapport 3 : « *intérêts et modalités de retours de cendres de bois en forêt* » (pages 181-191).

Le présent document présente les informations récoltées au cours de deux missions réalisées en Allemagne (Land de Bade-Wurtemberg) et Suède en 2013.

¹ Landmann G., Nivet C. (coord.), 2014. Projet RESOBIO, Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité. Angers : ADEME, Paris : Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire, et de la forêt – GIP Ecofor. Rapport final. 243 p. <http://www.gip-ecofor.org/doc/drupal/Rapport%20final%20Resobio%20-%202014-06-28.pdf>

1 Mission réalisée en Suède du 29/10 au 01/11/2013

Rédacteurs : Gwénaëlle Gibaud (ONF R&D), Laurent Saint-André (INRA BEF)

1.1 Personnes rencontrées

Henrik Bjurström (Office Kimiko) : expert indépendant, il a fait de nombreuses expertises sur les déchets industriels, cendres de bois incluses

Hillevi Eriksson (Skogsstyrelsen – Swedish Forest Agency) : expert cendres, bois énergie, adaptation aux changements climatiques, elle a travaillé 12 ans en tant que chercheuse à l'Université des sciences agronomiques de Suède [SLU] sur la thématique sol et cendres

Staffan Jacobson (Skogforsk) : chercheur en foresterie, spécialisé sur les thématiques cycles biogéochimiques sur sol minéral et cendres

Ulf Sikström (Skogforsk) : chercheur en foresterie, spécialisé sur les thématiques cycles biogéochimiques en tourbières et cendres

Bengt Olsson (SLU) : chercheur en écologie, spécialisé sur les thématiques sols, écosystèmes, bassins versants et cendres.

1.2 Missions des organismes

Skogsstyrelsen (Swedish Forest Agency) est une agence de l'Etat, en charge de la réglementation forestière et de son application. Elle exerce des missions de développement (communication et formation sur la gestion forestière), ne gère pas de forêt et ne mène pas d'activités de recherche en propre. L'agence, dont le siège est situé à Jönköping, compte une centaine d'antennes réparties sur le territoire. Elle dispose d'un budget annuel de 100 millions € et emploie environ 1000 personnes. L'agence a édité un premier guide de recommandations sur la problématique d'exploitation des rémanents et d'épandage de cendres de bois en 2001, qui a été révisé en 2008². Ces guides ont été basés sur des revues scientifiques réalisées en 1998, puis en 2006.

Skogforsk et **SLU** sont des organismes de recherche disposant d'un important parc d'essais (> 200) sur les cendres. Les travaux sur les cendres ont commencé dans les années 1980, mais seuls quelques essais testant différents types de cendres et différentes doses, ont plus de 15 ans. Des remesures sont programmées pour observer les effets à moyen terme. Les opérateurs rencontrés sont intéressés par une collaboration avec les responsables français du réseau MOS³ (INRA-BEF Nancy) et du projet INSENSE⁴ (INRA Bordeaux).

² On note que les deux éditions ont été traduites en anglais et que la deuxième traduction a été faite en 2011, sur demande et fonds du Canadian Forest service et du réseau International Forest Model Network.

³ Réseau expérimental « Matières Organiques du Sols » de l'équipe Biogéochimie des Sols Forestiers, support du projet RESPIRE (Projet Reacctif, ADEME, 2013) sur la Récolte des menus bois en forêt : Potentiel, Impact et Remédiation par Epandage de cendres.

⁴ Le projet INSENSE (INRA-ONF-AgroParisTech) vise à développer des **indicateurs de vulnérabilité** des écosystèmes aux exportations intensives de biomasse.

1.3 Eléments de contexte

Surface forestière : 27 millions d'ha soit 70 % de la surface totale, en augmentation; 23 millions d'ha en forêt productive (plus de 1m³/ha/an). Récolte de 80-90 millions de m³ pour un accroissement biologique de 110 à 115 millions de m³. (fig 1a)

Répartition de la propriété : (fig 1b)

- forêts privées : 50% (47 ha en moyenne – certification PEFC)
- état : 20%
- grandes compagnies forestières : 25% (certification FSC)
- collectivités locales : 5%

Essences : Pins, Epicéa, sauf dans le sud quelques hêtraies et chênaies. (fig 1a)

Gradient de dépôts azotés, du sud-ouest (10 à 15 kg/ha/an) vers le nord-est (5 à 7 kg/ha/an).

Stratégie énergétique : la suède sort progressivement du nucléaire (29 % en 2011) en développant les énergies renouvelables, dont la biomasse qui représente actuellement 23 % du bouquet énergie.



Figure 1a (en haut) : à gauche, répartition des surfaces par usage des sols et à droite part relative des principales essences forestières en volume

Source: The Swedish Forestry Model, Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry, 2009

http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Skog%20och%20miljo/ENGLISH/retrieve_file.pdf

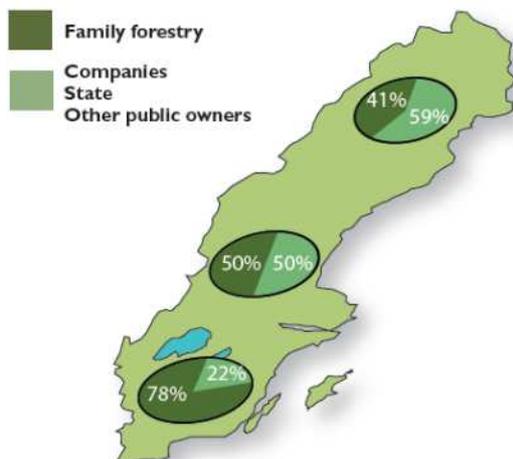


Figure 1b (à gauche) : structuration de la propriété forestière

Source: Sustainable forest management in Sweden, Swedish Forest Agency, se2009.EU, 2009

[http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Skog%20och%20miljo/eufaktablad_klar%20\(2\).pdf](http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Skog%20och%20miljo/eufaktablad_klar%20(2).pdf)

Forest ownership structure in Sweden. Source: Skogsstyrelsen

La question des retours de cendres est apparue dans les années 1980 (pour la recherche), 1990 pour les aspects réglementaires et 2000 pour le début « industriel ».

1.4 Surfaces forestières concernées par l'épandage de cendres, coûts et financement

La politique forestière incite aux épandages de cendres dans le cadre des coupes rases de peuplements avec exportations des rémanents. En cas d'exportation des aiguilles, il est ainsi recommandé de recycler les cendres quand la biomasse totale de branches extraites correspond à plus de 0,5 tonne de cendres sur une rotation. Le recyclage de cendres est aussi recommandé en cas d'exploitation des rémanents sur les tourbières ou les forêts du sud-ouest de la Suède (sols acidifiés par les dépôts atmosphériques) dans une **logique de compensation des exportations**.

Les **standards de certification FSC et PEFC** indiquent qu'il faut suivre les recommandations de la Skogsstyrelsen et donc acceptent *de facto* l'épandage des cendres (mais il ne semble pas y avoir de pénalités en cas de non-respect).

Chaque année, environ **180 000 ha** de peuplements passent en **coupe rase**, dont 70 à 80 000 ha avec prélèvements des rémanents (voir figure 2). On note une stabilisation depuis 2006 mais avec de fortes variations annuelles, qui dépendent des distances aux routes et de la taille des coupes rases pour que cela devienne rentable d'exploiter les rémanents. 80 à 90% de ces surfaces sont éligibles au retour des cendres mais **seulement 12 000 à 13 000 ha sont effectivement traités par an**. A titre de comparaison, les surfaces forestières avec fertilisation se sont élevées à 46 000 ha en 2012 (Swedish Statistical Year Book of Forestry, 2013). Les propriétaires font une déclaration à chaque coupe (éclaircie ou finale) si elle dépasse 0,5ha, car le plan simple de gestion ne suffit pas. Ils remplissent également une déclaration à chaque épandage de cendres.



Figure 2 : Surfaces concernées par l'exploitation des rémanents (cimes et branches) et les épandages de cendres

Source : Swedish Statistical Year Book of Forestry, 2013

[http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Statistik/Skogsstatistik%20årsbok/01.%20Hela%202013%20-%20Entire%202013/Skogsstatistik%20årsbok%202013%20\(hela\).pdf](http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Statistik/Skogsstatistik%20årsbok/01.%20Hela%202013%20-%20Entire%202013/Skogsstatistik%20årsbok%202013%20(hela).pdf)

Skogsstyrelsen souhaite fortement augmenter la surface traitée avec les cendres. Elle a eu une politique d'incitation jusqu'en 2004 sous forme de subventions (paiement des conditionnements et

des épandages de cendres). **Le coût moyen total estimé est de 50 à 100 € /tonne de cendres** soit 150 à 300 € par ha en se calant sur les recommandations qui sont de l'ordre de **3 tonnes MS / ha et par rotation**. Les variations de coûts sont essentiellement dues aux temps passés au repérage des zones à épandre et aux traitements administratifs des dossiers.

Depuis 2004, c'est le producteur de cendres qui finance les retours de cendres dans une logique de bio-économie. En effet, pour des raisons de rentabilité, les propriétaires n'exploiteraient pas les rémanents s'ils devaient financer le retour des cendres. Néanmoins, **certaines grandes compagnies forestières du sud de la Suède participent à hauteur de 10-15 % aux coûts des épandages**, car l'apport de cendres conduit assez souvent dans cette zone à un accroissement de la productivité. Quelques fois également, un système donnant-donnant est convenu entre les producteurs de cendres et les propriétaires : les producteurs de cendres payent, avec l'achat du bois, 50% du coût de retours des cendres et payent le solde si les cendres sont effectivement épandues en forêt.

Les producteurs de cendres ont l'obligation de les recycler. Il est interdit d'épandre des cendres en agriculture. Celles qui ne partent pas en épandage en forêt (non conformes ou pas de débouché) sont valorisées en décharges publiques pour constituer une couche imperméable entre les déchets et la couche de terre destinée à re-végétaliser la zone (coût à 100 €/tonne, taxe incluse). Elles trouvent aussi un débouché en complément au ciment pour la construction de plateformes industrielles. Dans tous les cas, le prix du « recyclage », quelle que soit la forme, est répercuté dans le prix au consommateur final.

Les quantités réellement épandues sont en deçà des recommandations : 500 kg à 1,5 tonnes/ha contre 3 tonnes/ha recommandées dans le sud de la Suède et 2 tonnes/ha dans la partie centrale.

1.5 Quels sont les freins au développement des épandages en forêt ?

Sous une forme humoristique, nos interlocuteurs résument la situation :

« Expensive, don't want to pay, don't want it in the forest »

Les débats sont encore vifs sur l'utilité d'épandre des cendres sur sol pauvres, à cause de l'effet sur la croissance non démontré, avec quelquefois un effet négatif observé du fait de carences azotées induites, les cendres ne contenant pas d'azote. Le débat s'étend même au sud de la Suède, où les épandages seraient *a priori* bénéfiques pour lutter contre l'impact des dépôts azotés (encore élevés), mais les déficits en cations y sont non démontrés et il y a un risque d'induire un déséquilibre vis-à-vis de l'élément phosphore. Les grandes compagnies du nord sont particulièrement réticentes pour un épandage à grande échelle (voir figure 3). Ils excluent aussi la combinaison cendres – fertilisation azotée sur sols pauvres pour des raisons de coût et de volatilisation de l'azote sous forme d'ammonium.

L'effet bénéfique sur l'augmentation de la productivité forestière sur les tourbières est par contre démontré. La surface potentiellement concernée est de l'ordre de 1 million d'ha de tourbières actuellement drainées et productives ; il existe donc un fort gisement potentiel, mais le rapport coût/bénéfice n'est pas favorable car il faudrait mettre beaucoup plus que les 3 TMS / ha recommandées et les risques sur la biodiversité sont estimés trop grands, notamment eu égard aux objectifs européens en matière de conservation des tourbières.

Les plus importants **producteurs de cendres** sont les scieries et les papeteries. Dans le cadre de production limitée de cendres (moins de 2000 tonnes/an), il n'est pas rentable pour un producteur d'investir dans le recyclage des cendres, et la solution de mise en décharge est favorisée.

Les **propriétaires forestiers** sont soit favorables au retour de cendres pour des raisons essentiellement d'ordre éthique (« *c'est bon de recycler, et d'éviter les gaspillages* »), soit au contraire défavorables sur la base des arguments suivants :

- « *on ne l'a jamais fait avant, pourquoi le faire ?* »
- « *à quoi bon maintenant ?* » pour repousser l'échéance, les épandages étant préconisés 2 fois au maximum par rotation (60 à 100 ans)
- « *pas de gain immédiat !* » : effets des apports à long terme
- « *pas homogène, pas homologué, pas de traçabilité !* » : méfiance vis-à-vis de la qualité des cendres, notamment leur concentration en métaux lourds
- des réticences vis-à-vis des impacts sur la végétation (sphaignes).

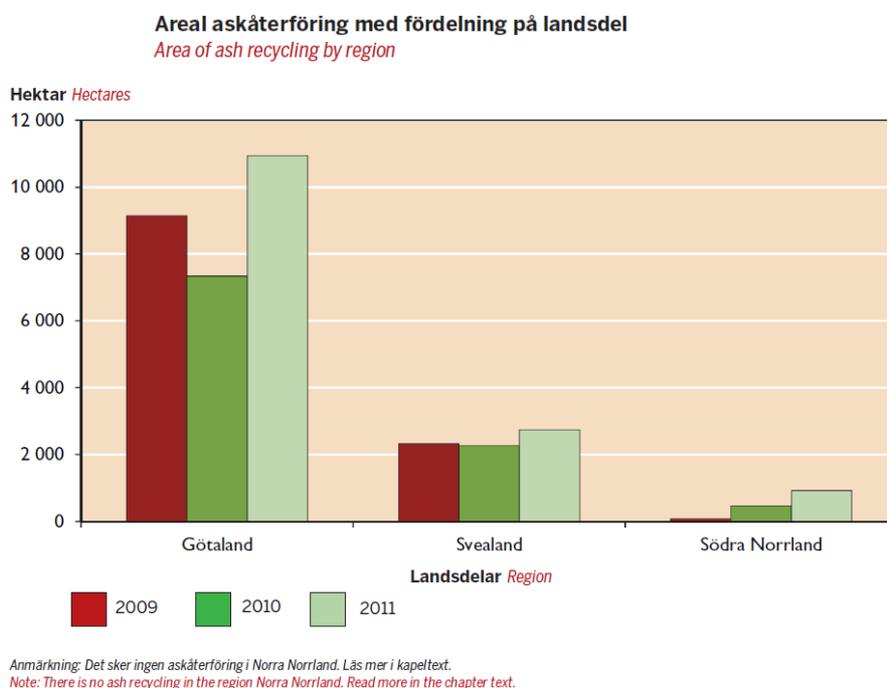


Figure 3 : Surfaces concernées par le retour de cendres dans les différentes régions (aucun épandage au nord de la Suède)

Source: Swedish Statistical Year Book of Forestry, 2013

1.6 Origine, qualité et conditionnement des cendres recyclées

Les cendres utilisées correspondent aux cendres sous foyer et aux cendres volantes⁵. Les cendres peuvent être issues d'un panel assez large de combustible (pas uniquement de bois propre) sous réserve que les caractéristiques respectent les teneurs seuils réglementées en éléments dangereux pour l'environnement.

⁵ Les cendres volantes correspondent aux poussières et particules fines entrainées dans les fumées, contrairement aux cendres récupérées sous foyer

Le tableau 1 donne les valeurs seuils à respecter de concentration en éléments nutritifs (Ca, K, Mg, P et Zn ; valeurs minimales) et 10 éléments mineurs (valeurs maximales) dans les pays nordiques autorisant le recyclage des cendres en forêt et/ou en agriculture.

Tableau 1 : Valeur limite pour les éléments mineurs et les nutriments dans les pays nordiques

Source: Rapport Haglund and expert group, 2008

Limit values for minor elements and nutrients in the Nordic countries

Country	Denmark	Finland	Finland	Sweden
Status	Legislation 2006	Legislation 2007	Legislation 2007	Recommendations draft 2007
Application	Agriculture/ Forestry	Agriculture	Forestry	Forestry
Nutrients (minimum)	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Calcium (Ca)		80	60	125
Potassium (K)		K+P 20	K+P 10	30
Magnesium (Mg)				15
Phosphorus (P)		K+P 20	K+P 10	7
Zinc (Zn)				0,5
Minor elements (maximum)	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Arsen (As)		25	30	30
Boron (B)				800
Cadmium (Cd)	5/15 ^a	1,5	17,5	30
Chromium (Cr)	100	300	300	100
Copper (Cu)		600	700	400
Mercury (Hg)	0,8	1,0	1,0	3
Nickel (Ni)	30/60 ^b	100	150	70
Lead (Pb)	120	100	150	300
Vanadium (V)				70
Zinc (Zn)		1500	4500	7000
^a Straw ash/wood ash				
^b The limit is 30 mg/kg. For values between 30–60 mg/kg there is dosage limit.				

Dans le cas de la Suède, la dose d'épandage recommandée est de 2 à 3 tonnes/ha pour une rotation entière. Ainsi, par exemple, avec une dose de 3 tonnes/ha sur 70 ans, l'apport maximal en Cadmium autorisé est limité à 1,3 g Cd/ha et par an.

Le taux d'écorce de la biomasse détermine pour une grande part si la cendre a les qualités requises pour des épandages (teneurs en cations mais aussi en certains éléments comme le Zn). Pour les cendres volantes, des analyses sont réalisées toutes les semaines pour contrôler les teneurs en éléments traces métalliques.

H. Bjurström a contribué à la constitution de la base de données « Allaska » sur les analyses chimiques de cendres⁶ et la met à disposition pour un travail commun sur ce sujet.

Le conditionnement des cendres pour les stabiliser avant épandage en forêt est recommandé, et la dose à appliquer dépend de la réactivité des cendres.

Le conditionnement des cendres peut être réalisé sur des plateformes dédiées⁷. Il consiste à laisser les cendres prendre en masse. Pour cela, les cendres sont mises en tas et aspergées d'eau, puis tassées à l'aide d'un tracteur, avant de reposer quelques mois. Enfin, les tas sont fracturés avec une pelle munie d'un godet et les cendres sont éventuellement criblées pour les homogénéiser. La recommandation est d'avoir des agrégats de plus de 4mm pour rechercher une dissolution lente, et une disponibilité sur le long terme des éléments nutritifs. Les gros granulés sont préférentiellement épandus dans les coupes rases et les petits granulés dans les peuplements en éclaircie pour limiter les impacts sur l'écorce des arbres.

C'est le taux de carbone des cendres qui détermine leur comportement : plus elles sont riches en carbone, plus leur durcissement est difficile (moins d'oxydes et donc moins de possibilité de cimenter), par contre, elles sont moins réactives. Le processus de combustion et de récupération des cendres va donc jouer sur la dynamique d'auto-durcissement des cendres (de quelques jours à plusieurs semaines). Les cendres volantes se durcissent tout de suite et doivent être récupérées immédiatement en sortie de chaudière.

Un protocole destiné à vérifier le degré de libération des éléments a été mis au point dans le cadre du projet RecAsh. Celui-ci met en relation différents types de cendres, la conductivité de l'eau de trempage (selon un protocole précis) et les risques associés sur la végétation. La plante modèle utilisée est la sphaigne présente partout en suède (référence in Haglund and expert group, 2008, annexe D/1).

Le procédé de conditionnement n'est cependant pas standardisé. La conséquence est la production de lots de cendres très hétérogènes, sous forme de poudre, boue ou blocs en mélange et se traduit par des difficultés à épandre pour l'opérateur sur le terrain.

Des solutions de granulation (bétonneuse, rouleaux à pellets, assiette rotative, ...) mises en œuvre en Finlande, ont aussi été testées en Suède, mais l'investissement est jugé trop lourd pour les producteurs de cendres et ils en restent donc au procédé d'auto-durcissement. **Si cette solution de traitement est moins chère en fabrication comparée à la granulation, elle coûte cependant plus cher en épandage à cause de l'hétérogénéité du produit** (cf. paragraphe précédent). La solution de granulation portable (voir figure 4) n'a pas été testée mais elle est jugée comme potentiellement faisable.

Il n'y a pas de pratique de mélange de cendres avec de la dolomie en Suède.

⁶ Base de données « Allaska »

<http://www.varmeforsk.se/reports?action=show&id=2612> et <http://allaska.varmeforsk.se/allaska/pdf/indatatillallaskaUK.pdf>

⁷ On peut mentionner la société Askungen Vital spécialisée dans le traitement et les épandages de cendres depuis 1997 - <http://www.eng.askungenvital.se/about.html>



Figure 17. Mobile granulation plant, Finland.

Illustration tirée de la plaquette du projet :

[http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Projekt/RecAsh/Handböcker%20Handbooks/RecAsh%20handbok%20\(engelska\).pdf](http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Projekt/RecAsh/Handböcker%20Handbooks/RecAsh%20handbok%20(engelska).pdf)

Figure 4 : Bétonneuse portable testée en Finlande dans le cadre du projet RECASH (2002-2006).

1.7 Réalisation des épandages (matériels, quantités...)

Les épandages sont majoritairement réalisés avec un tracteur à engrais modifié (système à disques, avec une distance de projection latérale de l'ordre de 2 fois 15 m). En général, les épandages sont réalisés après la coupe finale pour des raisons pratiques, même si les risques de lixiviation des éléments sont plus forts.

Théoriquement, les quantités à apporter dépendent des quantités de rémanents exportés, de la fertilité des sols, de la végétation (pin, épicéa, hêtre) et de ce que le flux d'altération (roche mère basaltique pratiquement partout) ne pourra pas compenser. Un logiciel SNURRAN 1.0 est mis à disposition gratuitement sur le site de Skogsstyrelsen. Mais dans la pratique, les doses réellement épandues sont inférieures aux recommandations du guide publié par Skogsstyrelsen en 2008.

Ce guide contient aussi un tableau de référence spécifiant les quantités de cendres générées par les exportations de rémanents. Ce tableau pourrait être adapté (contact possible avec Cecilia Akselsson, cecilia.akselsson@nateko.lu.se) au cas des essences forestières françaises sur la base des résultats du projet ANR EMERGE⁸.

Néanmoins, les incertitudes sur les quantités réellement exportées de la parcelle demeurent fortes, avec le constat d'un défaut d'études sur le sujet. Les rémanents sont usuellement laissés au sol pendant 1 an, avant d'être secoués puis entassés en bord de route et bâchés. Au final, il est estimé qu'au minimum 20% de la biomasse reste au sol sous forme d'aiguilles et de brindilles, et qu'en moyenne l'ordre de grandeur serait plutôt de 40% à dire d'expert.

⁸ Projet EMERGE : « Des évaluations compatibles de volumes, biomasses et minéralomasses en forêt : vers une gestion comptable et durable du bois énergie ». ANR Bioénergies (Bio-E) 2008

http://www.agence-nationale-recherche.fr/projet-anr/?tx_lwmsuivibilan_pi2%5BCODE%5D=ANR-08-BIOE-0003

NB sur l'optimisation de l'organisation des chantiers :

Les résidus d'exploitation sont regroupés sur des layons dans les parcelles pour que les engins d'exploitation circulent dessus, en application de recommandations de 2012. Ce qui pouvait apparaître comme un manque à gagner par les exploitants, s'est avéré intéressant dans la pratique, en optimisant l'accessibilité et l'enlèvement des rémanents restants situés de part et d'autre des layons. Il en résulte un double avantage (moins de tassement et plus de récolte de rémanents) mais cela génère un transfert de fertilité si les layons sont toujours au même endroit dans la forêt.

1.8 Références bibliographiques des principaux guides mentionnés

- Haglund N. and Expert group, 2008. Guideline for classification of ash from solid biofuels and peat utilized for recycling and fertilizing in forestry and agriculture. NT Technical Report 613. 13 p + ann.

[http://p29596.typo3server.info/fileadmin/Files/Documents/06_Publications/GUIDELINE FOR CLASSIFICATION OF ASH.pdf](http://p29596.typo3server.info/fileadmin/Files/Documents/06_Publications/GUIDELINE_FOR_CLASSIFICATION_OF_ASH.pdf)

- Meddelande, 2002. Recommendations for the extraction of forest fuel and compensation fertilising. Stogsstyrelsen. 29 p

<http://shop.skogsstyrelsen.se/shop/9098/art62/4645962-9b6e2b-1545.pdf>

- SNURRAN 1.0 (logiciel)

<http://www.skogforsk.se/butiken/Program/Snurran>

[10/?si=8F4BFAA33668F41119AAAD46225730BB&rid=1892066601&sn=SFSearchIndex](http://www.skogforsk.se/butiken/Program/Snurran/10/?si=8F4BFAA33668F41119AAAD46225730BB&rid=1892066601&sn=SFSearchIndex)

- Stogsstyrelsen, 2011. Recommendations for extraction of harvesting residues and ash recycling. English translation 2011. 34 p.

<http://www.skogsstyrelsen.se/Global/PUBLIKATIONER/InEnglish/guidelines.pdf>

2 Mission réalisée dans le Land de Bade-Wurtemberg, 23/04/13

Rédacteurs : Claudine Richter (ONF R&D), Bernd Zeller (INRA BEF)

2.1 Personne rencontrée

Klaus von Wilpert (FVA Fribourg), directeur du département sol et environnement, responsable de l'étude pilote réalisée en Haute Souabe sur le potentiel de récolte de biomasse énergie couplé à des bilans minéraux, dont les résultats ont constitué une base d'argumentation en faveur du recyclage des cendres de bois.

2.2 Missions des organismes

Le **FVA** (Forstliche Versuchs-und Forschungsanstalt) Baden-Wurtemberg basé à Fribourg est un institut de recherche dans les domaines de la forêt et de l'environnement, rattaché au Ministère des affaires rurales et de la protection des consommateurs à Stuttgart. Il travaille en relation étroite avec le **ForstBW**, qui est responsable de la gestion des forêts publiques du Bade-Wurtemberg.

2.3 Eléments de contexte

La **surface forestière** occupe 38 % de la superficie du land, soit 1,4 millions d'ha. Le stock de bois sur pied est de 485 millions de m³, la récolte annuelle de 13,1 millions de m³ (26 % du bois récolté en Allemagne), dont 3,6 millions de m³ de bois énergie. Ce Land vient en 2^{ème} position après la Bavière pour la surface forestière et le niveau de récolte (respectivement de 2,56 millions d'ha, et de 15,7 millions de m³ pour la Bavière).

La **répartition de la propriété** est la suivante :

- forêts communales : 38 % (490 ha en moyenne)
- forêts privées = 37% (2 ha en moyenne)
- forêt du Land = 24 %
- forêt fédérale = 1%

Actuellement, 82 % des forêts du Bade-Wurtemberg sont certifiés PEFC.

Les **essences** sont **en majorité des** résineux qui occupent 59 % de la superficie. Les 2 essences principales sont l'épicéa et le hêtre (respectivement 36,5 % et 20,6% de la superficie). (voir figure 5)

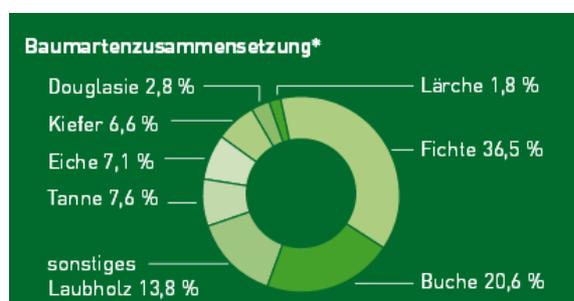


Figure 5 : Composition en essences de la forêt de Bade-Wurtemberg

Source: ForstBW, Kurzportrait, Forstverwaltung in Baden-Württemberg

http://forstbw.de/fileadmin/forstbw_mediathek/ForstBW_Kurzportraitweb.pdf

Le niveau de **dépôts atmosphériques azotés** reste élevé, avec en moyenne 20 kg/ha/an (de 10 à 50 kg/ha/an selon les zones). Il n'y a pas réellement d'enjeu concernant les apports d'engrais azotés dans ce contexte.

La **stratégie énergétique allemande** est régie par le « concept énergie 2050 » Il remanie complètement le schéma énergétique, par abandon de l'énergie nucléaire en 2022, et une hausse très forte de la contribution des énergies renouvelables ; il est prévu d'atteindre 18% d'ENR en 2020, 30% en 2030 et 60 % en 2050. Cette stratégie s'appuie fortement sur le bois énergie (en plus de l'éolien, du solaire et de l'hydraulique), la biomasse bois représentant déjà 70% de la part des énergies renouvelables en 2010. Le plan national allemand biomasse, lancé en 2010, prévoit notamment (d'après Magrum et al, 2014) :

- d'accroître la récolte et la commercialisation de bois (simplification des règles de mise en marché s'appliquant aux unions forestières, amélioration de la formation professionnelle, de la formation continue) ;
- de promouvoir les plantations forestières à courte rotation, et maintenir un statut agricole pour ces cultures ;
- de promouvoir la cogénération ; subventionner partiellement les réseaux de chaleur ;
- d'encourager la recherche technologique.

Le nombre de **chaufferies bois** est d'environ: 2000 dans ce Land et la **production de cendres de bois** non adjuvantés y est estimée à 30 000 tonnes/an.

2.4 Evolution de la problématique « épandage de cendres en forêt »

La **politique forestière soutenant les amendements Ca-Mg** trouve son fondement dans la **réponse au problème majeur de dépérissement des forêts résineuses**. En effet, depuis les années 1980, l'état fédéral allemand subventionne des opérations d'épandage calco-magnésien à but de restauration de sols acidifiés ou de prévention de l'acidification des sols (compensation des dépôts atmosphériques acides).

Ces amendements ont été mis en œuvre en Allemagne, essentiellement dans le Bade-Wurtemberg, mais aussi dans la Thuringe, la Saxe, la Basse Saxe, et la Hesse. **En Bade-Wurtemberg, une moyenne de 15 000 ha de forêt est annuellement amendée** avec de la dolomie (ou des mélanges minéraux à base de Ca, Mg et P).

La réflexion sur le recyclage des cendres a démarré dans les années 1995, en l'envisageant **en substitution ou en complément des apports d'amendements minéraux** réalisés.

Dans le cadre de la révision de la loi sur la fertilisation, K. von Wilpert défend l'idée qu'il est possible de valoriser les cendres de bois, en respectant certaines règles, pour gérer la fertilité minérale des sols. **La loi sur l'utilisation des engrais du 16/12/2008 introduit et régleme l'utilisation des cendres de bois pour les épandages**. En 2009, le land de Bavière a publié un guide sur l'utilisation (pour des épandages agricoles et forestiers) et l'élimination des cendres de bois (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009)

A la fin des années 2000, la problématique s'est élargie à celle des impacts des prélèvements accrus de biomasse sur la fertilité minérale des sols : **le retour des cendres en forêt est envisagé comme une solution compensatoire des récoltes de bois énergie**. Entre 2007 et 2010, une étude pilote a été

conduite en Bade-Wurtemberg, à l'échelle de la région de Haute-Souabe (140 000 ha de forêts), pour évaluer le potentiel de récolte biomasse pour différents scénarios d'exploitation, réaliser les bilans de fertilité minérale, et préciser l'intérêt (et faisabilité) d'utilisation des cendres de bois dans le cadre des besoins en amendements minéraux pour gérer durablement la fertilité des sols forestiers (Wilpert .v. *et al*, 2011).

A la différence de l'approche suédoise, la « compensation » n'est pas ici conditionnée par la récolte spécifique des rémanents, la logique est plutôt de réaliser **des amendements de restauration ou maintien de la fertilité des sols, basés sur la réalisation de bilans de fertilité. Ces bilans prennent en compte des hypothèses de besoins d'approvisionnement en biomasse.** Le retour des cendres n'est pas préconisé sous forme de cendres pures, trop réactives, mais sous la forme d'un **mélange de dolomie et de cendres de bois propre**, qui est une combinaison intéressante pour apporter l'ensemble des éléments minéraux nécessaires, notamment les éléments potassium et phosphore, qu'on ne trouve pas dans la dolomie et dont les coûts d'achat sous forme d'engrais sont élevés (prix de la tonne, fin 2011 : KCL 60% = 500€ ; phosphate naturel 25% = 210€, avec une tension de plus en plus forte sur ce marché).

Le Bade-Wurtemberg est le premier (et actuellement seul) land allemand mettant en pratique le recyclage de cendres de bois en forêt par épandage d'un mélange de dolomie et de cendres. La Bavière, par contre, n'a pas mis en œuvre de telles opérations d'épandage alors qu'elle a édité un guide sur l'utilisation des cendres en 2009.

2.5 Les travaux de R&D menés sur les cendres

A l'échelle fédérale, des essais sur les cendres ont été mis en place sur des sols forestiers contrastés entre 1994 et 2000 : 2 dispositifs dans le Bade-Wurtemberg (St Peter, Ochsenhausen) et un dispositif en Basse Saxe (Vorberger Feld, près d'Hanovre). L'approche *in situ* a été couplée à des expérimentations *ex situ* sur colonnes de sol. Les travaux ont porté sur l'étude des flux des éléments minéraux, le lessivage des nitrates, l'activité microbienne (mesures de respiration du sol) et la dynamique des métaux lourds, pour différentes doses (jusqu'à 18 tonnes/ha) et forme d'apport (pure ou en mélange avec de la dolomie).

Les résultats ont montré que le mélange de cendres (pH 12) et de dolomie (pH 9) est moins « agressif » (pH et réactivité plus faible) que les cendres pures. Ces expériences ont aussi montré que les risques liés au chrome 6, qu'on peut trouver dans les cendres, et qui est très dangereux pour l'environnement et la santé humaine, sont limités car cette forme n'est pas stable sur sols acides, et est rapidement réduite. L'humidification des cendres (à 10%) est également préconisée pour réduire le chrome 6.

Dans les années 2000, des travaux ont été menés, à Stuttgart en particulier, sur les caractéristiques des cendres :

- Etudes des relations avec l'origine de l'approvisionnement bois (telle que type d'essences, sites) et les caractéristiques des chaudières ;
- Caractérisation de la variabilité de la composition en éléments majeurs et mineurs (dont les éléments traces métalliques).

On peut mentionner en **Westphalie** le travail de Stahl (2008), qui a discuté l'intérêt des cendres comme fertilisants PK (pour la forêt, la loi autorise des applications de fertilisants PK, contenant jusque 30% de cendres). Plus de 200 échantillons de cendres, provenant d'installations de 10 à 4000

kW, approvisionnées en bois « propres », ont été analysés. L'étude a conclu à l'intérêt agronomique des cendres (la majorité des échantillons étant assimilables à des fertilisants PK), mais avec des teneurs élevées et de nature variable en métaux lourds, qui conduisent à la conclusion que ces cendres ne peuvent pas être utilisées comme fertilisant PK pour un épandage agricole et proches des valeurs seuils pour un épandage forestier.

Dans le **Bade Wurtemberg**, l'étude pilote réalisée en Haute Souabe à la fin des années 2000 sur le potentiel de production de biomasse et le recyclage des cendres (sur financement du fournisseur d'énergie EnBW, Energie Baden-Württemberg AG), a permis de construire la méthodologie de travail, reposant sur (i) l'élaboration des modèles de bilans minéraux, (ii) le calcul des bilans pour différents scénarios d'exploitation et d'amendement (cf. figure 6), (iii) la représentation spatiale (résolution : 25 x 25 m) des résultats à l'échelle régionale (potentiel de récolte de biomasse, bilans minéraux pour les éléments nutritifs majeurs, besoins en amendement).

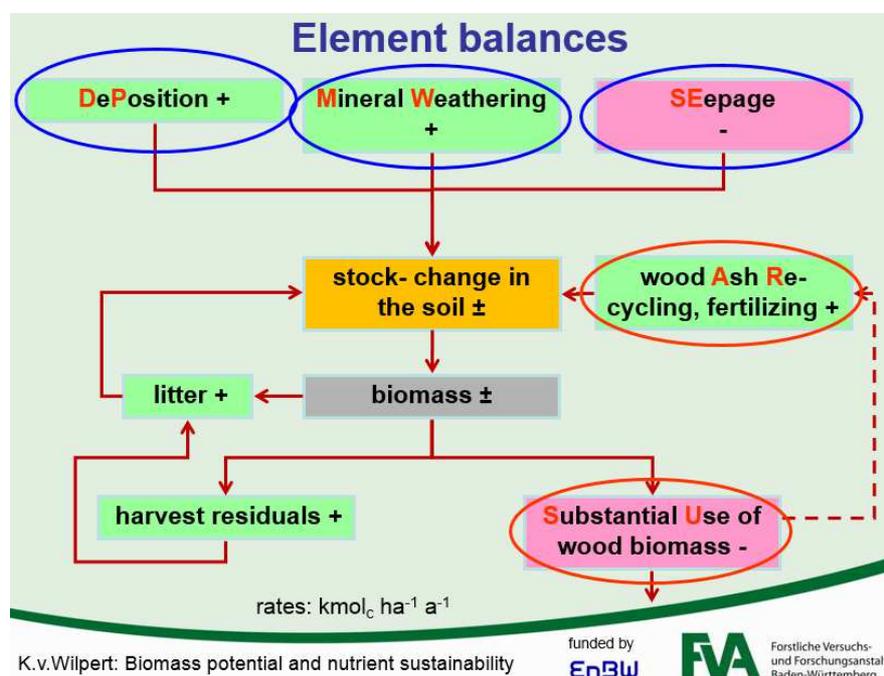


Figure 6 : utilisation durable de la biomasse ligneuse – Eléments de flux pour les bilans de fertilité

Source: Proceedings of the Workshop W6.1 Forest bioenergy and soil sustainability at EUROSOIL Congress, 2nd July to 6th July 2012, Bari, Italy. Présentation de K.v.Wilpert

http://www.oecd.org/tad/crp/forest-bioenergy-soil-sustainability_proceedings.pdf

Pour ce travail, les données de biomasse ont été modélisées à partir des 523 points d'inventaire forestier disponibles en Haute Souabe. Les données sol utilisées proviennent du réseau de mesures de la qualité des sols mis en place en Allemagne à une grille fine de 8 x 8 km. Les données de minéralomasse sont celles d'épicéas (échantillons de 60 tiges) et de hêtre (échantillon de 40 tiges). Les bilans d'exportation minérale ont été réalisés pour 5 scénarios d'exploitation, en particulier :

- scénario 1 : récolte conventionnelle mécanisée, avec mise en place des rémanents sur les cloisonnements (pas d'exploitation de bois énergie)
- scénario 4 : exploitation additionnelle des cimes pour le bois énergie, et recyclage des cendres

- scénario 5 : scénario 4, mais le bois d'industrie est utilisé en plus comme bois énergie, et les cendres sont recyclées.

K.v. Wilpert indique que la généralisation de cette approche est envisagée à l'échelle fédérale.

Ce projet s'est aussi intéressé à des aspects plus techniques et logistiques liés à l'utilisation des cendres, tels que **l'optimisation du procédé de fabrication du mélange « cendres + dolomie », l'étude des coûts, la réalisation d'épandage du mélange en 2008 et 2009 sur 1560 ha**, à raison de 4 tonnes/ha, en collaboration avec deux producteurs d'amendements minéraux.

Des collaborations ou échanges sur les travaux de R&D du FVA sur le recyclage des cendres ont actuellement lieu avec les Lands de Bavière et de Basse Saxe, ainsi qu'avec l'Autriche et la Suisse.

2.6 Origine, qualité, conditionnement des cendres de bois – vers la mise en place d'une filière ?

Les travaux sur la caractérisation chimique des cendres ont amené aux règles suivantes sur l'origine et l'utilisation des cendres pour des épandages en forêt (K.v. Wilpert, 2002) :

- cendres uniquement issues de la combustion de **bois non traités**,
- **cendres sous foyer** uniquement (les cendres volantes ne doivent pas être utilisées car elles sont plus concentrées en métaux lourds, donc plus dangereuses),
- les **concentrations en métaux lourds doivent être contrôlées** et respectées la réglementation sur les fertilisants,
- le recyclage des cendres doit être combiné à un amendement de restauration/maintien de la fertilité des sols, et **la proportion de cendres en mélange avec de la dolomie est fixée au maximum à 30%**.

K.v. Wilpert précise que la répartition des productions entre cendres sous foyer et cendres volantes s'est modifiée ces dernières années du fait des évolutions technologiques des chaudières bois, et qu'il faut probablement revoir les caractéristiques analytiques des différentes cendres par rapport aux études des années 2000. Ceci étant, il considère que la triple condition sur les valeurs maximales de concentration en métaux lourds des cendres d'une part, l'utilisation de cendres uniquement en mélange, et la proportion maximale de cendres dans le mélange, permet de limiter fortement les risques de contamination de l'environnement en métaux lourds.

La réglementation sur la qualité des cendres de bois pour un usage en forêt figure dans la loi sur l'utilisation des engrais du 16/12/2008. Les valeurs seuils sont données dans le tableau 2.

Tableau 2 : valeurs limites de concentration en métaux lourds de cendres issues de bois non adjuvantés pour des épandages en forêt

Source : Holz Zentral Blatt, numéro 27, 9 juillet 2010

http://www.holzaschen.de/files/hzb_100709.pdf

Eléments	(mg/kg TM)
As	60
Pb	225
Cd	2,25
Cr VI	x
Ni	120
Hg	1,5
Ti	1,5
PFT	0,15

Par contre, il n'y a pas de prescription sur les concentrations en ETM pour les sols forestiers compte tenu des valeurs basses constatées pour la forêt, mais des valeurs seuils existent pour l'agriculture (épaisseur de sol considérée : 0-1 m).

Des spécifications supplémentaires sont données sur le mélange dolomie/cendres (issues des travaux de l'étude Haute-Souabe) :

- **des valeurs minimales de 12% de MgO ; 1,5 % de K₂O ; 0,5% de P₂O₅ ; 75% de CaCO₃**
- **des conditions sur la granulométrie : < 2mm, avec au moins 50% de particules > 0,1 mm.**

Les mélanges dolomie/cendres sont directement réalisés en carrières par les producteurs d'amendement (selon les appels d'offre). *[Dans le cadre de cette mission, nous n'avons pas pu réaliser de tournée spécifique sur un site de production, pour rencontrer un producteur et compléter les informations].*

Enfin, il faut mentionner, la création en juin 2011 d'une communauté fédérale sur les cendres de bois (Die Bundesgütegemeinschaft Holzasche ; <http://www.holzaschen.de>). Sa fonction est de créer les conditions administratives et organisationnelles pour développer l'utilisation des cendres comme fertilisant en Allemagne. Elle apporte un appui à ses adhérents qui veulent entrer dans une démarche de certification de cendres issues de la combustion de bois non adjuvantés.

2.7 Surfaces cibles pour les épandages de mélange, coûts et financement

A l'échelle du Bade-Wurtemberg, les surfaces à amender sont estimées à 744 000 ha (comm. K.v.Wilpert), avec un objectif de 1,5 apport tous les 40 ans (soit 28 000 ha/an). En supposant un taux de réalisation de 75%, la cible annuelle de surface à amender est de 21 000 ha/an. L'apport du mélange dolomie/cendres serait à cibler sur les zones carencées en phosphore et/ou potassium, soit de l'ordre de 1/3 des surfaces identifiées.

Ce sont les résultats périodiques du monitoring des sols (remesures prévues tous les 15 ans) qui doivent servir à l'évaluation des effets de ces opérations et au réajustement des épandages.

Jusqu'ici, ce sont les producteurs de cendres qui prennent encore en charge les coûts de transport jusqu'aux carrières, considérant que cela leur coûte moins cher que l'élimination qui revient à 50 à 90 euros/t de cendres. Mais cette position évolue compte tenu de la valeur marchande du mélange.

Pour les producteurs du mélange, les coûts correspondent donc au seul traitement des cendres pour constituer le mélange. Le surcoût de production est de 10 % plus élevé que la dolomie seule, cette majoration étant essentiellement liée au comportement des cendres qui forment des agrégats en s'humidifiant.

In fine, pour le propriétaire ou le gestionnaire, les coûts de fourniture et d'épandage de 4 t/ha de mélange dolomie/cendres oscillent entre 200 €/ha (épandages terrestres) à 300 €/ha (épandages aériens).

Compte tenu du soutien de l'état fédéral pour les amendements, la part du coût restant à la charge d'un propriétaire privé est réduit à 15 % (plus la TVA) de ce coût soit de l'ordre de 30 à 45 €/ha HT.

2.8 Réalisation des épandages et contrôle qualité des mélanges

Les producteurs d'amendement produisent les mélanges sur appel d'offre du ForstBW. Ils prennent en charge le contact avec les chaufferies pour l'approvisionnement en cendres.

Les matériels d'épandage utilisés sont les mêmes que pour les épandages classiques de dolomie, et nécessite seulement une légère adaptation (que ce soit par voie terrestre ou aérienne).

Les conditions sur les périodes d'épandage sont également les mêmes, avec interdiction d'épandre en hiver et en période de végétation.

Des collectes d'échantillons du mélange, pour analyses, sont réalisées par les forestiers, par tranche de 500 tonnes. Le contrôle porte sur la granulométrie, la valeur agronomique et les concentrations en métaux lourds.

Tous les épandages réalisés, en forêts publiques et privées, sont dorénavant enregistrés dans une base de données dont la constitution a nécessité un effort de plusieurs années de collecte d'information.

2.9 Référence bibliographiques

- Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009. Verwertung und Beseitigung von Holzaschen 19 p. <http://www.lwf.bayern.de/forsttechnik-holz/biomassenutzung/015524/index.php>
- Magrum M., de Menthière C., Gault J., de Lagarde O. (coord.) 2014. Rapport du Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux N° 12122, Comparaison des filières forêt-bois en France et en Allemagne, 111 p. http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/12122_rapport_parrangonage_Fr-All-version_13-05-2014_cle0fbc94.pdf

- Proceedings of the Workshop W6.1 Forest bioenergy and soil sustainability at EUROSIL Congress. Heljä-Sisko Helmisaari and Elena Vanguelova (Editors). OECD. 2nd July to 6th July 2012, Bari, Italy. 72 p.
- Stahl, 2008. Qualität and Verwertungsmöglichkeiten von Holzaschen aus naturbelassenen Hölzern. Umweltwissens. Schadts Forsch. 20 : 290-298.
[DOI : 10 1007/s12302-008-0001-9](https://doi.org/10.1007/s12302-008-0001-9)
- v.Wilpert, K., Bösch, B., Bastian, P., Zirlewagen, D., Hepperle, F., Holzmann, S., Puhlmann, H., Schäffer, J., Kändler G., Sauter U.H., 2011. Biomasse-Aufkommensprognose und Kreislaufkonzept für den Einsatz von Holzaschen in der Bodenschutzkalkung in Oberschwaben. *Berichter, Freiburger Forstliche Forschung*, Heft 87, 155 p.
http://www.waldwissen.net/wald/boden/fva_holzasche_bodenschutzkalkung/fva_holzasche_bodenschutzkalkung_schlussbericht.pdf

Annexe : Questionnaire appliqué en Suède & éléments clés des entretiens

1/ Scientific aspects of ash recycling and soil impact

- Standards and protocols for ash analysis: total, exchangeables, oxides...
Analyses dans des laboratoires spécialisés
- Link between tree species/ forest types/ soil on one hand and wood ash chemical composition on the other hand?
Non, excepté peut-être la base de données Allaska.
- Do you (or do you recommend to) analyse wood ash before spreading them to the ground in order to enhance soil fertility and/ or to compensate increased biomass exportations?
Oui, à faire à chaque lot (en théorie) ; mais protocole pour tester la libération des éléments minéraux peu appliqué
- How do you weigh up the wood ash quantity needed? Do you distinguish between issues (enhancing soil fertility vs compensation) to weigh up the quantities needed?
Il existe effectivement un logiciel qui permettrait de raffiner les doses mais dans la pratique, ils appliquent un maximum de 2 ou 3 tMS/ha. Uniquement apports compensatoires.
- Traceability of inputs in term of origin of ashes and application areas (information system?)
oui, centralisation des demandes à Skogsstyrelsen
- Did you analyse the wood ash dissolution rates? and the factors affecting them (ash conditioning, soil, ash chemical composition: elements + forms [oxides, minerals, exchangeable...])?
Oui pour la dissolution mais les facteurs ont finalement été peu discuté car dans la réalité seul l'auto-durcissement est pratiqué pour des raisons de coûts.
- How : in situ vs in the lab? Do you consider these rates, for example, to advise one type of conditioning over another as a function of forest age?
In lab, tableau de correspondance avec la conductivité

2/ Technical aspects of ash recycling

- strategy inputs (where ? quantities ? periodicity ? periods of application ? timing in relation to plantation operations)
voir rapport
- **conditioning**: self-hardened; crushed; granulated; pelletized ash?
Auto-durcissement, voir rapport
Contacts utiles sur la granulation des cendres : groupe de recherche en Finlande - Kalmar
- **packaging**: pure ash or mixed with additives like dolomite because of the weakness of Mg concentration in ash ? or with organic matter like pulp sludge or compost to obtain a fertilizer?
uniquement cendres pures, voir rapport
- which spreading techniques (materials, method, frequency, spreading width) ?
tracteur équipé, voir rapport
- damage to the soil (increased transport in the forests, lost of the ground-protecting effect of the slash)
Recommandation d'utiliser les résidus d'exploitation dans des layons pour la circulation des engins, voir rapport
- supply chain (dry or wet ash produced ? bottom or fly ash ? conditioning)
tout, voir rapport
- technical guides for forests owners and managers

oui, guide 2002, révisé en 2008, et traduit en anglais en 2011

- main operators in Sweden ?
Askungen Vital

3/ Economic aspects of ash recycling

- cost of waste treatment ?
50 à 100 euros/tonne
- rentability of ash application ?
non, sauf par rapport à la mise en décharge – gains de croissance pas assez forts pour compenser vraiment les coûts
- price of wood energy (branches and Harvest residue) ?
non discuté

4/ Scientific position on ash recycling

- R & D issues today in Sweden and international partnership?
Recherche continue (effet à moyen et long terme, croisement avec exploitation plus ou moins forte des rémanents), mais Skogsstyrelsen n'est plus dans une démarche R&D (plutôt une démarche de lobby pour augmenter les surfaces traitées). Fortes possibilités de collaborer avec SLU et Skogforsk
- ongoing projets ?
beaucoup du côté recherche
- Environmental assessment?
Oui, biogéochimie à différentes échelles (jusqu'au paysage et la qualité des eaux de surface) + chaînes trophiques, biodiversité et...
- R&D works on wood ash packaging and efficiency?
Plus de ce côté là
- costs and benefits approaches ?
Plus de ce côté là

5/ Policy and certification aspects

- how ash inputs (or sludge - liming and fertilization in general) are included in the Swedish forest certification?
Inclus mais il s'agit de recommandation, pas d'une obligation
- Are there state subsidies for wood ash recycling in forests?
Oui, sur la période 2000- 2004

6/ Social aspects

- acceptability of ash recycling ?
voir rapport
- communication?
plaquettes, guide et film (notamment via le projet RecAsh)
- environmental organizations positioning
non discuté