

ADEME



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

GESTION ET VALORISATION DES CENDRES DE CHAUFFERIES BOIS

Epandage en forêt

Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par :



SOLAGRO : M. Christian COUTURIER



AQUASOL : M. Thierry BRASSET

Coordination technique :

Caroline RANTIEN – Département Bioressources – Direction des Energies Renouvelables des Réseaux et des Marchés Energétiques – ADEME Angers

Mélanie CHAUVIN – Délégation Régionale Bretagne - ADEME



La valorisation des cendres

Valorisation en forêt : plan de gestion (AFOCEL-SOLAGRO)

1. Démarche

1.1 Identification des besoins des sols et/ou du peuplement (Cf. détails Fiche Forêt&Besoin)

Si l'on raisonne sur les deux composants majoritaires des cendres (**CaO et K₂O**), les besoins des sols et les besoins des peuplements varient dans la plupart des situations entre 0,3 et 8 tonnes par hectare et cela de 1 à 3 fois sur la vie du peuplement (plantation, éclaircies avec ou sans récolte des rémanents). Les situations nécessitant un apport exogène sont liées à deux facteurs : l'acidité de la station (et sa fertilité) et l'exportation de minéraux (récolte du bois < récolte du bois + rémanents).

1.2 Choix des cendres et réglementation

1.2.1 Logique « déchets »

D'une manière générale, dans cette logique « déchets », c'est le propriétaire de l'installation de combustion qui est responsable des cendres et de leur utilisation.

Les cendres provenant d'installations classées (ICPE 2910 – Combustion) dont la puissance est supérieure à 20 MW th, le responsable doit faire annuellement « **un bilan des opérations de valorisation** ».

1.2.2 Logique « produits »

Si l'exploitation forestière choisit des cendres homologuées ou normalisées, il devient responsable de l'utilisation du produit et des éventuels problèmes pouvant subvenir. Il est de la responsabilité de la personne qui met les cendres sur le marché de s'assurer que dans des **conditions « normales » d'utilisation**, les cendres respectent les seuils fixés pour les **E.T.M.** et pour **l'efficacité agronomique**.

1.2.3 Logique « agronomique »

Au-delà des aspects réglementaires, le choix des cendres et du tonnage nécessaire doit respecter l'adéquation entre les besoins du sol et/ou du peuplement (Cf. Fiche Forêt & Besoins) et des éléments contenus dans les cendres. L'exploitant doit avoir accès à la composition des cendres et à l'efficacité agronomique des éléments présents.

2. Quelles cendres ? (source AFOCEL, programme européen « Recash »)

Les deux filières d'où proviennent les cendres susceptibles d'être valorisées par épandage dans des zones boisées sont les chaufferies collectives de grosse capacité et l'industrie du bois dont l'industrie papetière.

L'épandage de cendres brutes est à pratiquer avec précautions pour trois raisons :

- pour des raisons d'hygiène : les poussières peuvent en effet être inhalées lors des manipulations et occasionner des problèmes de santé ;
- pour des raisons de transport : le bâchage est obligatoire et les coûts plus élevés ;
- pour des raisons agronomiques : les cendres brutes peuvent provoquer un effet « sel » préjudiciable à la végétation, et leur grande solubilité conduit à une trop rapide modification des propriétés des sols et à un lessivage.

Dans la mesure du possible, il faudrait mettre en place et préférer les **cendres durcies par addition d'eau sous forme de « boulettes » ou sous forme de granulés**. Toutefois, aujourd'hui en France, ce type de préparation des cendres, en particulier la granulation, n'est pas encore mis en œuvre.

3. Période d'apport

3.1 La fertilisation à l'installation du peuplement

L'épandage de fertilisants est facile à réaliser à ce stade en raison de l'absence d'arbres. Les apports de calcium et de potassium, suivis ou non d'un enfouissement sont parfaitement justifiés à cette période en tant que fertilisation de fond, car ils activent - au moins pour le calcium - le cycle biologique de la matière organique. La présence de phosphore dans les cendres est intéressante pour le développement racinaire, de même que l'absence d'azote qui évite de trop développer la végétation naturelle concurrente les premières années. Les effets de cette fertilisation peuvent se faire sentir pendant une dizaine d'années.

3.2 La fertilisation des peuplements adultes

La croissance des peuplements adultes est surtout favorisée par la nutrition azotée. Aux apports par la pluie et l'atmosphère, s'ajoutent les apports venant de la minéralisation des matières organiques. Le calcium contenu dans les cendres agit en favorisant les activités biologiques, en particulier le développement des bactéries, rendant ainsi les processus de décomposition des matières organiques plus efficaces.

Ces apports sont recommandés sous couvert fermé lorsqu'il est encore possible de circuler entre les rangées d'arbres, sinon **il faut profiter des couloirs de cloisonnement** réalisés lors des premières éclaircies et répéter l'opération à chaque nouvelle exploitation, **soit en moyenne vers 15 ans puis tous les 7/8 ans**. Les coupes rases de taillis sont également la période idéale pour intervenir.

4. Matériel d'épandage de fertilisant en forêt

4.1 Epandeur agricole

Ce type d'épandeur est à utiliser à chaque fois que la circulation dans les peuplements forestiers est possible. Les situations les plus appropriées sont les suivantes : boisements sur terrain nu, reboisement derrière coupe rase de taillis ou de futaie, plantation à larges espacements (type peupleraie), sols peu encombrés (pas de rochers, pas de souches, peu de rémanents), sols plats.



Les matériels les plus performants sont équipés d'un fond mouvant, de hérissons verticaux, d'une trappe et d'une table d'épandage avec disques de distribution. Ces équipements sont commandés par une centrale hydraulique. Avec ce matériel, des informations précises peuvent être obtenues sur les quantités épandues par chantier et par hectare grâce aux capteurs de charge et aux systèmes de régulation des différents équipements. Des systèmes plus perfectionnés proposent la pesée en continu du chargement, le guidage par GPS et la commande automatique de variation de pression des pneus en fonction de l'usage ou du terrain.

4.2 Epandeur monté sur un porteur forestier

L'épandeur est un caisson d'épandage monté sur un débardeur forestier, solidaire du tracteur ou articulé.

Par rapport au matériel agricole, le matériel forestier est équipé de pneus renforcés basse pression, de chaînes, d'un châssis avec une garde au sol plus importante. La cendre est chargée à raison de 4 à 5 tonnes avec le godet de chargement monté sur la grue à la place du grappin, dans un caisson équipé de disques de distribution (idem matériel agricole). Le rendement journalier est de 50 tonnes/jour et 1000 tonnes par mois.

Ce matériel est plus approprié pour circuler en conditions forestières strictes (présence de rémanents, ornières, rochers, légères pentes) mais il nécessite cependant de bonnes conditions de circulation (encombrement et sol).

Les situations boisées suivantes sont à privilégier :

- peuplements résineux au stade éclaircie ;
- coupes rases de taillis de feuillus (forts ensouchements) ;
- futaies larges de feuillus ou de résineux.



4.3 Epandage par hélicoptère

Employé très largement dans les pays scandinaves, l'épandage par hélicoptère est utilisé pour épandre du carbonate de calcium à raison de 3 tonnes par hectare dans le cadre de la lutte contre l'acidification des forêts.

Le coût de l'épandage par hélicoptère (>50€/tonne) en est le principale frein. Cette technique ne semble pas envisageable en France.

5. Organisation des chantiers d'épandage en forêt

5.1 Transport et stockage

Les cendres brutes sont transportées dans des camions ou des containers bâchés jusqu'au lieu de stockage. Les containers contiennent en moyenne **20 tonnes** de cendres. Elles peuvent également être transportées en « big bags » de 500 kg.

Les cendres agglomérées sont chargées avec un godet cribleur équipé de rouleaux au fond du caisson (*voir photo*). Ce système permet d'écraser les grosses mottes, de retirer les pierres et les blocs avant épandage. Elles sont ensuite chargées en container ou dans un camion benne pour être transportées et déposées près du site d'épandage sur une place de dépôt facilement accessible. Pour éviter un lessivage des éléments contenus dans les cendres, en particulier le potassium, il est recommandé la pose préalable d'une bâche sur le sol.



5.2 Epandage

5.2.1 Recommandations :

- **Sites d'épandage** : doivent être particulièrement bien choisis (peu éloignés du gisement, facilement accessibles, parcelles de grande dimension).
- **Place de dépôt** : stabilisées et accessibles par camions.
- Qualité physique des **cendres** : surveiller la reprise en masse (prévoir le cas échéant un criblage avant épandage).
- **Matériel** : qualité de l'épandage satisfaisante avec du matériel agricole classique mais manœuvres et circulation difficiles avec du matériel standard sans travaux préalables (arasement de souches, etc...). **Le choix d'un matériel doit se faire en fonction de la situation forestière.**
- **Efficacité** et **innocuité** des cendres : amélioration des propriétés des sols (augmentation du pH et teneurs en K_2O , MgO , P_2O_5) et pas d'impact négatif sur la végétation à court et moyen terme. Pas ou peu d'effet à court terme sur la biomasse forestière.
- Acceptabilité sociale : image plutôt positive du retour des cendres en forêt.

Une **grille d'analyse des besoins et des contraintes** par chantier ou micro région semble donc un préalable nécessaire avant toute opération de valorisation en forêt. Ce type de démarche menée en concertation avec le producteur, le propriétaire ou gestionnaire de la forêt et la société chargée de l'épandage pourrait être contractualisée, sur la base de ce qui se fait dans les pays scandinaves.

5.2.2 Test opérationnel : chantier d'épandage en Suède

Stockage en forêt et chargement d'un épandeur (source RECASH)



Épandeur à disque et opération d'épandage



Sur ce chantier, la productivité mesurée était de **6,3 m³/heure (7,2 t/heure)** dans le cas d'un épandage de granulés de cendres juste après exploitation. Dans le cas d'un épandage de cendres brutes quelques années après la coupe, la productivité était de 4,9 t/heure. La distance entre le stockage des cendres et le site d'épandage était dans les deux cas de 500 m.

L'épandage des cendres en granulés par un porteur équipé d'un épandeur plat n'a pas donné de résultats concluants (Väätäinen et al. 2000). La régularité peut être améliorée par l'utilisation d'un **épandeur à disques**. Les granulés de cendres sont chargés dans un container au-dessus du porteur. Par soucis d'efficacité, la même machine peut être utilisée pour le débardage, le transport et l'épandage de cendres en adaptant l'épandeur sur le porteur.

Le stockage en forêt doit être le plus court possible afin d'éviter la détérioration de la qualité des granules et une dérive au niveau des coûts de l'opération. La taille minimale de stockage est d'environ 20 tonnes. Le nombre de stockages doit également être déterminé en fonction des coûts de transferts de la machine d'épandage. L'épandage est aussi envisageable à une échelle plus petite (parcelle d'un propriétaire forestier privé) grâce au conditionnement en sac des granulés.

6. Approche économique

Les coûts d'une opération d'épandage en forêt en **Finlande** ont été estimés selon plusieurs options (stockage et épandage) sur la base d'une production annuelle de **granulés** de 6300 tonnes/an. Ces coûts sont donnés à titre indicatif selon les auteurs et ne peuvent être considérés comme des références.

Tableau : Coûts optionnels de recyclage des cendres pour une production de granulés de cendres de 6300 t/an. Les coûts d'investissements par tonne ont été calculés en taux d'inflation de 6 % sur une période de 10 ans et une valeur résiduelle de 20% (d'après Väättäinen et al 2000)

Facteur coûts	Options		
	A*	B*	C*
	Coûts par tonne		
	Epandage par tracteur forestier	Epandage par hélicoptère	Epandage par tracteur forestier
1. Coûts d'investissements			
Investissement € Réaffectation d'une alvéole pour le stockage des cendres	67 275		
Construction d'une nouvelle unité stockage + tapis roulant	269 100		5.20
Total coûts d'investissement		1.35	5.20
2. Coûts opérationnels de la chaîne d'épandage de cendres			
Production de cendres (granulation)	27.25	27.25	27.25
Transport sur une courte distance	1.0	1.0	
Chargement	0.35	0.35	0.35
Transport sur une longue distance (50 km)	3.85	3.85	3.85
Epandage par tracteur forestier (distance d'épandage 0.5 km)	8.05	8.05	8.05
Epandage par hélicoptère (distance d'épandage 1 km)		50.45	50.45
Total coûts de l'opération tracteur forestier – hélicoptère	40.6 – 82.9	40.6 – 82.9	39.5 – 81.9
1+2 : COÛTS TOTAUX	40.6 - 82.9	41.9 - 84.3	44.7- 87.1

A. Méthode classique : stockage à l'extérieur de l'usine

B. Stockage à l'intérieur de l'usine : capacité 1000 m³

C. Construction d'une nouvelle unité de stockage, près de la fabrication de granulés. Le transfert de granulés de la production au stockage se fait par un tapis roulant couvert.

Dans les trois cas (A, B ou C), les frais varient beaucoup selon la distance qui sépare le lieu de stockage du lieu d'épandage, avec toutefois un différentiel plus important dans le cas d'un épandage par hélicoptère.

Le coût de fabrication des granulés entre pour plus de 60% dans le prix de revient d'une tonne épandue avec un matériel roulant (entre **41 et 45 €/tonne**) soit **135 €/ha (3 tonnes /ha)** dans le cas des forêts scandinaves. L'épandage par hélicoptère coûte environ le double.

Dans les deux cas, les frais varient beaucoup selon la **distance** qui sépare le lieu de stockage en forêt du lieu d'épandage, avec un différentiel plus important dans le cas d'un épandage par hélicoptère.