

ADEME



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

GESTION ET VALORISATION DES CENDRES DE CHAUFFERIES BOIS

Forêts et besoins

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 : les besoins des sols et des peuplements (AFOCEL-SOLAGRO)

1. Besoins des sols forestiers

Les sols forestiers diffèrent peu des autres sols mais ils sont généralement **plus pauvres, plus acides et contiennent plus de matière organique** que les sols agricoles : c'est le cas des milieux forestiers anciens. Les sols forestiers sont généralement des sols que l'agriculture n'a pas utilisés en raison de contraintes d'exploitation (pentes, cailloux, hydromorphie) et d'une faible fertilité. Un quart des sols forestiers ont une pente supérieure à 30%. Dans le cas de boisements récents sur des déprises agricoles, les sols sont temporairement enrichis par les activités agricoles.

1.1 Sols acides et très acides

Près des **2/3 des sols forestiers** français ont des pH inférieurs à 5,5 (contre 12% des sols agricoles). Les plus fortes acidités (pH voisin de 4,5) sont observées dans les **sols bruns acides** et les **podzols**. Ces sols ont des textures grossières (sable dominant).

Les micro-organismes sont peu actifs dans les sols acides, avec en plus une prépondérance des champignons sur les bactéries. Le cycle des éléments minéraux y est fortement perturbé.

Tableau : Quantité corrective nécessaire pour augmenter le pH d'une unité sur trois types de terrain (Source : Biocen 2003-Italie)

	CaO	Ca(OH) ₂	CaMg(CO ₃) ₂	CaCO ₃	Cendres (25 % Cao)
	En t/ha				
Terrain sablonneux	1-2	1,3-2,6	1,6-3,3	1,8-3,6	4-8
Terrain limoneux (10-20% d'argile)	2-3	2,6-3,9	3,3-4,9	3,6-5,4	8-12
Terrain argileux et humifère	3-5	3,9-6,6	4,9-8,2	5,4-9	12-20

L'apport de chaux, et de cendres par conséquent, a pour effet d'améliorer l'absorption des éléments minéraux (phosphore, potassium, molybdène) dans la plupart des sols forestiers acides et d'accélérer la minéralisation de certains humus peu actifs.

1.2 Sols touchés par les pollutions atmosphériques

Les pluies acides affectent les forêts et le sol. L'acide sulfurique détruit les minéraux et peut causer l'absorption par les arbres de métaux toxiques comme l'aluminium et le mercure. En effet, quand le pH diminue, des réactions chimiques font que les métaux lourds peuvent se trouver sous une forme assimilable (échangeable) et être ingérés par les plantes.

L'acidification se traduit par une perte en ions échangeables du sol nécessaires à la nutrition des plantes. **Les sols peu profonds, lessivés, pauvres en éléments carbonatés, comme il en existe sur les grès ou les granits, ont un faible pouvoir tampon et donc une capacité limitée pour neutraliser les dépôts acides.**

Dans le cas des **sols sableux**, les pluies acides saturent le sol et l'environnement devient trop acide ; les plantes et les animaux sont atteints. La présence de métaux lourds en petites quantités et des réactions chimiques provoquées par l'acidité du sol font qu'ils sont absorbés par les plantes qui contaminent à leur tour les animaux qui les avalent.

Enfin il y a une diminution des mycorhizes (micro-organismes vivant en symbiose avec les plantes) et la mort des racines fines.

Sur ces sols, l'apport de cendres est tout à fait justifié pour rendre les métaux lourds inactifs, en particulier l'aluminium.

1.3 Sols mal structurés

La structure d'un sol est le mode d'assemblage des éléments solides du sol (sables, limons, humus, argiles). **Une bonne structure se caractérise par la présence de mottes et d'agrégats qui permettent la circulation de l'eau et assurent une bonne aération aux racines, aux organismes et micro-organismes vivant dans le sol.** L'action de différents éléments, en rapport avec les mouvements de l'eau dans le sol (pluie, gel, tassement, travail du sol) peut dégrader cette structure.

Le deuxième critère appliqué à une bonne structure est la résistance à cette dégradation, ou stabilité structurale. Les sols forestiers, moins sujets aux phénomènes de battance que le sont les sols agricoles, de par leur plus **forte teneur en matières organiques**, peuvent cependant présenter des signes temporaires d'engorgement. C'est le cas des sols à gley ou pseudogleys et les sols limoneux du bassin parisien. Dans ce type de sol, les racines peu profondes et peu abondantes souffrent d'asphyxie en hiver et de manque d'eau en été.

En dehors de l'intérêt de la matière organique sur les propriétés physiques des sols forestiers, **le calcium a la faculté de flocculer le complexe argilo-humique** (fabrication d'agrégats) et ainsi de favoriser la circulation d'eau entre l'horizon de surface et les horizons inférieurs.

Les cendres de bois, riches en calcium, trouvent leur intérêt dans ce type de situation : stabilisation et amélioration de la structure.

2. Besoins des peuplements

D'une manière générale, sous nos latitudes, **les besoins en éléments nutritifs exogènes des arbres forestiers sont globalement faibles** dans la mesure où le recyclage des éléments minéraux est optimisé (couverture du sol, exploration de tous les horizons par les racines, restitution des éléments minéraux lessivés par le feuillage).

Si on tient compte des pertes par lessivage ou par immobilisation, et si on tient compte des apports par minéralisation, les besoins globaux suivant le type de peuplement varient dans les fourchettes suivantes :

Azote : 10 à 30 kg/ha/an ; phosphore : 0,8 à 2,1 kg/ha/an ; **potassium 5 à 15 kg/ha/an** ; **calcium : 5 à 22 kg/ha/an** ; magnésium : 2 à 4,5 kg/ha/an.

Cela dit, 3 types de perturbations peuvent modifier la fertilité d'une station forestière et donc les besoins en éléments fertilisants :

- **Récolte du peuplement** (coupe rase, éclaircies) : ouverture du milieu (entrée d'oxygène), accélération du cycle des nutriments, de la minéralisation de la matière organique et augmentation du risque de lessivage.
- Exportations des **rémanents** (écorces, feuilles, aiguilles, branches) : exportation d'éléments hors du système sol-arbres-végétations d'accompagnement.
- Les apports d'azote atmosphérique et l'acidification des sols.

2.1 Raisonement des apports et doses sans exportation des rémanents

Si on n'exporte pas les rémanents, seules les stations forestières peu fertiles nécessitent une fertilisation.

La grande diversité des situations sylvicoles (essences, âge du peuplement, teneur foliaire en éléments minéraux, type de sols, stocks, ...) implique que la fertilisation des peuplements forestiers doit être regardée **au cas par cas** et concerne les essences pour lesquelles on dispose de suffisamment de références indiquant l'intérêt d'une telle pratique.

On peut cependant noter que :

- Le phosphore est le principal élément qui limite la croissance des arbres forestiers.
- Les apports en **potassium** s'adressent plus aux espèces feuillues qu'aux espèces résineuses (Cf. tableau ci-dessous).
- Les **jeunes arbres** sont plus exigeants que les peuplements adultes.
- Sur le plan nutritionnel, les peuplements n'ont pas de besoin particulier en **calcium**, sauf à renouveler les stocks et à remédier aux situations décrites dans les paragraphes précédents.

Tableau : Impact des apports de calcium et de potasse sur différentes espèces forestières. = sans effet, + léger effet, ++ effet positif, +++ effet très positif (Source : Bonneau 1995, Baule/Fricke 1969, AFOCEL)

Réponse à une fertilisation	Résineux					Feuillus			
	Pins	Sapins	Epicéas	Douglas	Mélèzes	Chênes	Hêtres/charmes	Eucalyptus	Peupliers
CaO	+	=	+	+	=	=	++	=	+
K ₂ O	++	+	++	++	++	++	+++	++	+++

Le tableau suivant résume les types d'engrais et les doses qui sont préconisées en matière de fertilisation forestière (Bonneau 1996).

Elément	Dose kg/ha	Sol calcaire	Sol mésotrophe (pH > 5,5)	Sols acides	Equivalence cendres (t/ha)
Fertilisation en plein sur peuplement adulte ou plantation à couvert fermé					
N	200	Ammonitrate	Sulfate d'ammonium	Ammonitrate /urée	-
P2O5	100 – 200	Super triple	Phosphate d'ammonium	Scories	3 à 7
K2O	80 - 150	Chlorure de potassium	Patentkali Sulfate de potassium	Chlorure de sulfate	1 à 2
CaO	850 – 1400	-	-	Calcaire broyé Mélange calcaire et chaux	3 à 5
MgO	100 – 150	Sulfate	Patenkali	Calcaire magnésien, mélange de calcaire magnésien et chaux magnésienne	2 à 3
Fertilisation en plein avant plantation avec enfouissement					
N	60 - 200	Sulfate	Sulfate d'ammonium	Ammonitrate Phosphate d'ammonium	-
P2O5	60 – 200	Superphosphate	Superphosphate triple	Scories Phosphore naturel	2 à 7
K2O	80 - 150	Sulfate de potassium	Patentkali Chlorure de potassium	Chlorure de sulfate Patentkali	1 à 2
CaO	1000 – 1500	-	-	Chaux éteinte Calcaire broyé Mélange calcaire et chaux	3 à 5
MgO	70 - 100	Sulfate	Patenkali	Calcaire magnésien, mélange de calcaire magnésien et chaux magnésienne	1 à 2

2.2 Raisonnement des apports et doses avec exportation des rémanents

La récolte des houppiers conduit donc à des exportations plus fortes par rapport à l'exploitation des troncs seuls allant jusqu'à trois fois plus de perte lors d'une exploitation par arbres entiers. Les bilans entrées-sorties indiquent en général que le **calcium** est l'élément le plus susceptible d'être en déficit lors d'une intensification de la récolte. **L'exploitation par arbres entiers peut donc provoquer l'acidification des sols.**

Si on récolte des rémanents, le guide pratique (AFOCEL-ADEME-INRA-IDF-UCFF-2005) préconise une fertilisation variable en fonction de la richesse de la station et du type de peuplement. Le tableau ci-après résume ces préconisations.

Tableau : Fertilisation recommandée (données en kg/ha)

Type peuplement	Sylviculture recommandée			N	P2O5	K2O	CaO	MgO
Sol riche, peu sensible à la récolte des rémanents, à risque faible								
Résineux		Récolte des rémanents 2 fois maximum dans la vie du peuplement		-	-	-	-	-
Feuilleu	Taillis et sous futaie	Au moins 15-20 ans entre 2 récoltes des rémanents		-	-	-	-	-
	Futaie	Pas de restriction		-	-	-	-	-
	Peupleraie	Pas de restriction (sauf TCR : Cf. raisonnement agricole)		-	-	-	-	-
Sol moyennement riche, sensible à la récolte des rémanents, à risques moyens								
Résineux	Epicéa commun	Récolte des rémanents 2 fois maximum dans la vie du peuplement		-	-	-	-	-
		Si récolte supplémentaire		50	80	80	90	5
	Autres résineux	Récolte des rémanents 1 fois maximum dans la vie du peuplement		-	-	-	-	-
		Si récolte supplémentaire	Douglas	70	60	80	130	20
			Autres	50	20	80	90	5
Feuilleu	Taillis	Si moins de 30 ans entre 2 récoltes		70	10	40	270	50
		Si enrichissement feuillu après coupe	Fertilisation par plant (g/plant)	5	30	20	50	5
		Si enrésinement	Fertilisation à la plantation	-	35	25	700	100
	Taillis sous futaie	Si maintien du régime TSF et temps entre 2 récolte < 30 ans, fertiliser comme pour le taillis		-	-	-	-	-
		Si conversion en futaie, 1 seule récolte de rémanents	Si récolte supplémentaire	40	10	20	50	10
		Futaie	1 seule récolte de rémanents	Si récolte supplémentaire	40	10	20	50
Sol pauvre, très sensible à la récolte des rémanents, à risques forts								
Résineux	Tous types	Fertiliser après récolte des rémanents	Douglas	120	90	130	200	30
			Epicéa commun	70	20	120	120	10
			Autres	70	20	120	120	10
Feuilleu	Taillis	Entre 2 récoltes		110	10	60	410	80
		Si enrichissement feuillu après coupe	Fertilisation par plant (g/plant)	5	40	30	70	10
		Si enrésinement, fertilisation à la plantation		-	50	35	700	100
	Taillis sous futaie	Si maintien du régime TSF		110	10	60	410	80
		Si conversion en futaie	Fertilisation après récolte des rémanents	70	10	30	80	10
		Futaie	Fertilisation après récolte des rémanents	70	10	30	80	10

Tableau : Synthèse des besoins en éléments fertilisants dans le cadre d'une exploitation des rémanents et évaluation des besoins en cendres

Besoin en élément fertilisant (kg/ha)	Equivalence cendres (t/ha)
N 40 à 120	-
P2O5 10 à 80	0,3 à 3
K2O 20 à 130	0,3 à 2
CaO 50 à 700	0,5 à 2
MgO 5 à 100	0,1 à 2

Les besoins d'éléments fertilisants exogènes en forêt sont limités. Ils ne sont envisagés que dans le cas de stations forestières pauvres et/ou dans le cas d'une sylviculture particulière (exploitation des rémanents, coupe rase, ligniculture). Dans tous les cas, ces besoins identifiés correspondent à des apports de cendres compris entre **0,1 et 7 tonnes par hectare**.

3. Conclusion

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 récoltes des rémanents). Les situations nécessitant un apport exogène sont liés à deux facteurs : l'acidité de la station (et sa fertilité) et l'exportation des nutriments (récolte du bois < récolte du bois + rémanents).