

ADEME

DVNAC

Etude de valorisation des cendres de chaufferies bois

Novembre 2001

MARCHE N° 00 01 026

suiveur ADEME : Séverine BOUVOT - MAUDUIT

SOMMAIRE

RESUME.....	1
SYNTHESE SUR LA REGLEMENTATION	4
1 - ETUDE DU GISEMENT DE CENDRES.....	27
1.1 - RECENSEMENT DES INSTALLATIONS ET DES PUISSANCES INSTALLEES.....	27
1.2 - TYPES DE COMBUSTIBLES	28
1.3 - GISEMENT DE CENDRES	28
2 - CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE	30
2.1 - CARACTERISATIONS ISSUES DE LA BIBLIOGRAPHIE.....	30
2.1.1 <i>Préambule.....</i>	30
2.1.2 <i>Influence du combustible (essence du bois)</i>	31
2.1.3 <i>Cendres d'installations existantes</i>	33
2.1.4 <i>Synthèse bibliographique</i>	34
2.1.5 <i>Premières conclusions.....</i>	36
2.2 - CARACTERISATIONS ISSUES DES ANALYSES	37
2.2.1 <i>Particularités des cendres retenues</i>	37
2.2.2 <i>Analyses réalisées.....</i>	37
2.2.3 <i>Résultats</i>	39
2.3 - COMPARAISON ANALYSES/BIBLIOGRAPHIE.....	44
3 - REGLEMENTATION EXISTANTE ET PERSPECTIVE D'EVOLUTION.....	45
3.1 - RECAPITULATIF DES INSTALLATIONS DE COMBUSTION ET D'INCINERATION	45
3.2 - LES INSTALLATIONS NON ICPE ET LEURS RESIDUS.....	46
3.3 - LES INSTALLATIONS DE COMBUSTION 2910 A - REGIME DECLARATION	47
3.4 - LES INSTALLATIONS DE COMBUSTION 2910 A - REGIME AUTORISATION	49
3.5 - LES INSTALLATIONS DE COMBUSTION 2910 B – REGIME AUTORISATION.....	51
3.6 - LES INSTALLATIONS D'INCINERATION DE DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES - 322 B4	51
3.7 - LES CONDITIONS D'UTILISATION DES MATIERES FERTILISANTES	52
3.7.1 <i>Quelques définitions</i>	52
3.7.2 <i>Utilisation et contrôle des matières fertilisantes</i>	53
3.7.3 <i>Le cas des cendres de chaufferies bois</i>	55
3.8 - LES CONDITIONS DE FABRICATION ET D'UTILISATION DE MATERIAUX ROUTIERS ET DE BATIMENT COMPORTANT DES MATERIAUX ISSUS DE DECHETS	60
3.8.1 <i>Matériaux normalisés.....</i>	62
3.8.2 <i>Matériaux devant satisfaire à des prescriptions techniques et/ou environnementales</i>	62
3.8.3 <i>Matériaux nouveaux.....</i>	64

3.9 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	65
3.9.1 <i>Etat actuel</i>	65
3.9.2 <i>Perspectives</i>	65
4 - ANALYSE DES FILIERES DE VALORISATION EXISTANTES.....	67
4.1 - LES INSTALLATIONS VISITEES	67
4.1.1 <i>Chaufferie de Saint Jean de Chevelu (73)</i>	67
4.1.2 <i>Chaufferie de La Compote (73)</i>	67
4.1.3 <i>Chaufferie de La Ferté Mace (61)</i>	68
4.1.4 <i>Chaufferie du C.A.T. Le Bellaie (14)</i>	68
4.1.5 <i>Chaufferie de la scierie SONORMEN (14)</i>	69
4.2 - LES FILIERES EXISTANTES	70
4.2.1 <i>Les différentes filières rencontrées</i>	70
4.2.2 <i>La valorisation agricole</i>	71
5 - PROPOSITIONS DE RECHERCHES DE NOUVELLES FILIERES.....	74
5.1 - VALORISATION AGRICOLE SPECIFIQUE	74
5.2 - VALORISATION DES CENDRES BIOMASSE EN FORET	74
5.2.1 <i>Une filière balbutiante</i>	74
5.2.2 <i>Application aux cendres étudiées</i>	76
5.2.3 <i>Analogie avec les boues de STEP</i>	76
5.3 - VALORISATION INDUSTRIELLE	77
5.3.1 <i>Industrie de la céramique</i>	77
5.3.2 <i>Matériaux pour la construction et les Travaux Publics</i>	80
5.4 - TRAITEMENT D'ODEUR	83
6 - CONCLUSIONS	84
GLOSSAIRE.....	87
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	88
RÉFÉRENCES RÉGLEMENTAIRES	90
NORMES RELATIVES AUX MATIERES FERTILISANTES	92
NORMES RELATIVES AUX MATERIAUX DE BTP	92

RESUME

Etude des cendres de chaufferie bois dans le cadre du « programme bois-énergie 1999-2006 »

Le développement de la filière bois énergie, du fait de l'intérêt indéniable du bois en tant que combustible pour la lutte contre le changement climatique, a conduit à une croissance importante du nombre de chaufferies utilisant du bois comme combustible (nombre multiplié par 10 depuis 1994). Ces chaufferies permettent donc la production d'énergie renouvelable et conduisent à la production de cendres.

Le traitement des cendres de chaufferies bois est un sujet préoccupant actuellement puisque ces matériaux, considérés la plupart du temps comme des déchets, pourraient être valorisés sous certaines conditions. En outre, la maîtrise de la gestion de ces cendres – aujourd'hui non optimisée, et souvent laissée à l'appréciation des maîtres d'ouvrage ou exploitants – apparaît incontournable pour une énergie disposant d'un fort atout en terme environnemental.

L'étude s'appuie sur une connaissance approfondie :

- de la réglementation actuelle et prévisible concernant les sous-produits de l'incinération mais aussi des conditions de valorisation,
- de la caractérisation physico-chimique des cendres à partir de données bibliographiques et de résultats d'analyses sur des échantillons de cendres représentatifs de la production,
- de l'état actuel des filières de valorisation en France (et à l'étranger).

Cette étude a ainsi démontré qu'il n'existe pas actuellement, en France, de filière de valorisation clairement définie ; les cendres sont évacuées en décharge ou valorisées en agriculture sans études de faisabilité préalables pour la majorité des cas.

Il est ensuite proposé des filières de valorisation agronomiques clairement définies (filière agricole ou forestière) ainsi que de nouvelles voies de valorisation à approfondir dans le domaine industriel (secteurs de la céramique ou du BTP).

Les différentes filières applicables aux cendres de combustion biomasse sont présentées sous forme de fiches synthétiques.

SYNTHESE DE L'ETUDE

Tableau récapitulatif sur la valorisation des cendres de chaufferies bois

Tonnage produit	< 40 t / an	40 t/an à 500 t/an		> 500 t/an	
Combustibles	Biomasse	Biomasse	Déchets bois	Biomasse	Déchets bois
Réglementation	RSD	RSD ou ICPE (D)	ICPE (A)	ICPE (D) ou (A)	ICPE (A)
Pré-traitement	<ul style="list-style-type: none"> Humidification 	<ul style="list-style-type: none"> Humidification, Ou granulation. 	<ul style="list-style-type: none"> Humidification, Ou granulation, Criblage, Lavage ? 	<ul style="list-style-type: none"> Humidification, Ou granulation. 	<ul style="list-style-type: none"> Humidification, Ou granulation, Criblage, Lavage ?
Stockage	<ul style="list-style-type: none"> En bennes (2) sur une aire enrobée de 100 m². 	En bennes (2) sur aire enrobée (100 m ³) = 40 à 100 t ou en tas sur plate-forme couverte : <ul style="list-style-type: none"> 100 t (40 m²), 200 t (80 m²), 500 t (160 m²). 		En tas sur plate-forme couverte : <ul style="list-style-type: none"> 100 t (40 m²), 200 t (80 m²), 500 t (160 m²). 	
Filières envisageables (actuelles)	Epandage agricole 3 à 8 t/ha (produits homologués ou correspondants à une norme)	Epandage agricole 3 à 8 t/ha (si respect des teneurs en éléments-traces arrêté 2/2/98 rejets ICPE autorisées = arrêté du 8/1/98 composts)		Epandage agricole 3 à 8 t/ha (si respect des teneurs en éléments-traces arrêté 2/2/98 rejets ICPE autorisées = arrêté du 8/1/98 composts)	
	Epandage forestier 10 à 20 t/ha(produits homologués ou correspondants à une norme)	Epandage forestier 10 à 20 t/ha(si respect des teneurs en éléments-traces arrêté 2/2/98 rejets ICPE autorisées = arrêté du 8/1/98 composts)		Epandage forestier 10 à 20 t/ha (si respect des teneurs en éléments-traces arrêté 2/2/98 rejets ICPE autorisées = arrêté du 8/1/98 composts)	
ou à développer)		<ul style="list-style-type: none"> Incorporation dans fabrication d'engrais et amendement Incorporation en céramique artisanale (40 t à 400 t) ou industrielle (400 à 500 t), (sous réserve de teneurs en CaO, Fe et granulométrie compatibles). Incorporation dans matériaux routiers (si assimilables à mâchefers de catégorie V), Incorporation dans fabrication de matériaux de construction (sous réserve de teneurs en CaO, métaux lourds et granulométrie compatibles). 		<ul style="list-style-type: none"> Incorporation dans fabrication d'engrais et amendement Incorporation en céramique industrielle (400 à 500 t), (sous réserve de teneurs en CaO, Fe et granulométrie compatibles). Incorporation dans matériaux routiers (si assimilables à mâchefers de catégorie V), Incorporation dans fabrication de matériaux de construction(sous réserve de teneurs en CaO, métaux lourds et granulométrie compatibles).. 	

SYNTHESE SUR LA REGLEMENTATION

Situation actuelle

Le synoptique présenté ci-contre résume la situation qui est assez complexe.

Les conditions de valorisation, en particulier par épandage ou par utilisation en tant que granulat, sont bien spécifiées quand il s'agit d'installations de combustion ou d'incinération de type ICPE, relevant du régime de l'autorisation ; mais c'est très rarement le cas des chaufferies bois.

En effet , seules les chaufferies utilisant comme combustibles des déchets bois (contenant ni métaux lourds ni composés halogénés) sont des ICPE soumises à autorisation.

La grande majorité des chaufferies ayant des puissances faibles (< 2 MW), elles sont soumises au RSD (Règlement Sanitaire Départemental) qui ne prévoit rien de spécifique pour des résidus de combustion. Par contre, en tant que matières fertilisantes, ils pourraient être épandus sous réserve d'être homologués ou normalisés.

Les chaufferies ayant une puissance plus élevée (comprise entre 2 et 20 MW), étant des ICPE soumises à déclaration, leur Arrêté type est tout à fait ambigu concernant leur devenir. Il prévoit la valorisation des déchets, mais interdit tout épandage.

Perspectives

Les plans de protection de l'atmosphère (PPA) devraient prévoir des dispositions concernant les chaufferies bois de petite puissance qui ne relèvent pas des ICPE.

Concernant les possibilités de valorisation par épandage des cendres de chaufferies produites par des installations classées ICPE, sous régime de la déclaration, la question devrait être posée au Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement car vu la législation actuelle, l'épandage semble difficile car non prévu ou non encadré.

Concernant les autres formes de valorisation étudiées, en particulier les possibilités d'entrer dans l'élaboration de matériaux routiers ou de construction, seuls les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (322 B 4) bénéficient actuellement d'une circulaire présentant leurs conditions de valorisation et d'élimination, en complément de prescriptions techniques (Note technique SETRA – LCPC).

De fait, les spécifications des mâchefers (V, M et S) servent actuellement de références lorsqu'on étudie la possibilité de valoriser tel ou tel matériau en technique routière.

Il n'y a pas de spécification sur les matériaux (ciment, béton, parpaing, ...) fabriqués à partir de matières premières secondaires, c'est-à-dire issus de déchets.

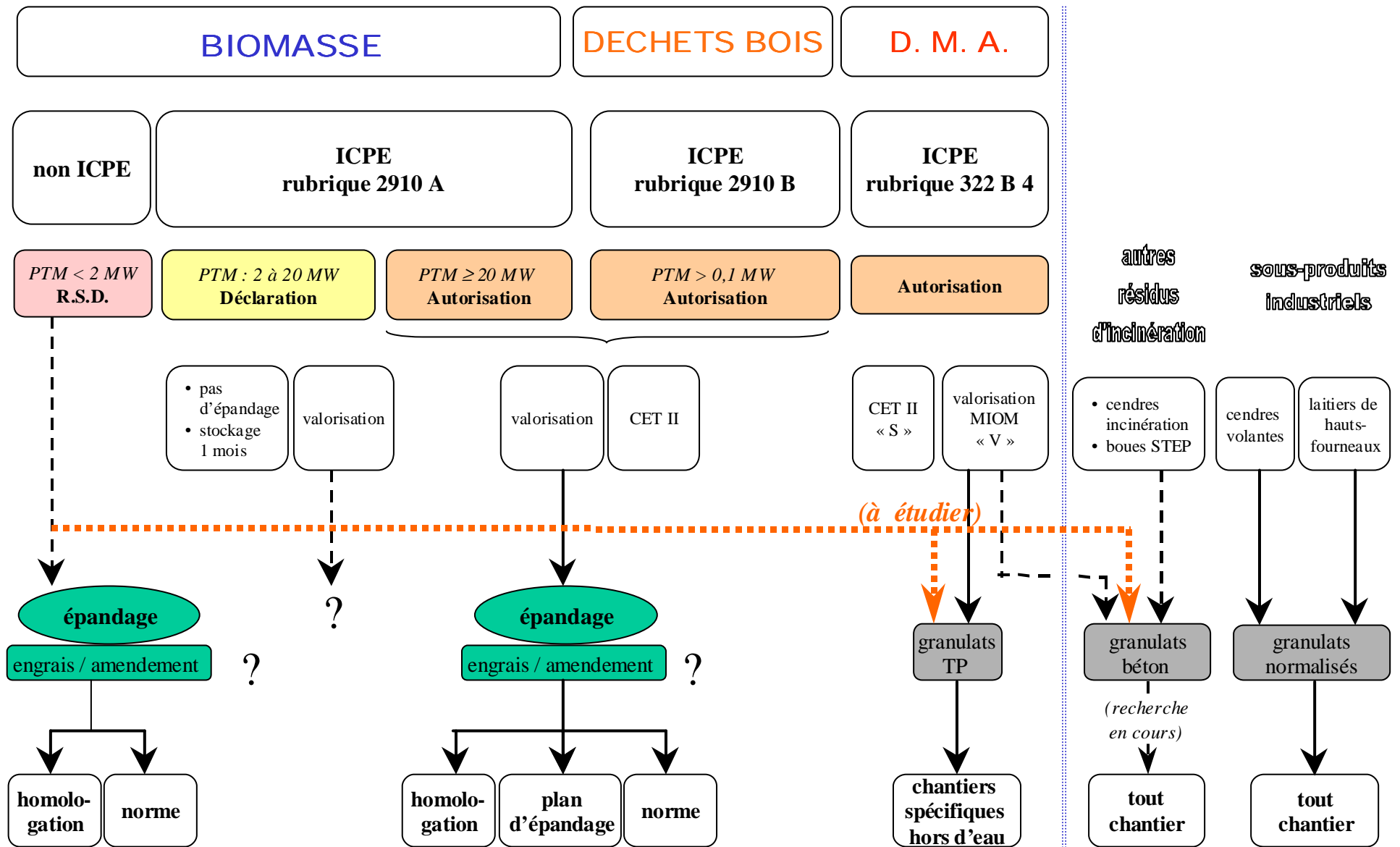
Mais une nouvelle réglementation sur le devenir des résidus des process thermiques (RPT) est à l'étude. Elle ne devrait plus être basée seulement sur la caractérisation des produits par des seuils limites estimés par des essais de type lixiviation. En effet, on sait aujourd'hui que ceux-ci ne représentent pas les conditions auxquelles sont soumis les matériaux lorsqu'ils sont utilisés en sous-couches routières, par exemple.

D'autres essais (par exemple la percolation) qui seront validés par rapport à des scénarios, tenant compte des paramètres physico-chimiques du contexte dans lequel le matériau va être employé (pH, perméabilité, pluviométrie, ...) sont à l'étude.

Le comportement à long terme devrait être mieux appréhendé et, in fine, l'impact du matériau sur l'environnement et la santé humaine (compatibilité des relargages prévisibles des flux polluants avec la qualité des eaux de surface et souterraines, ...). Cela devrait aboutir à caractériser l'éco-compatibilité du couple « déchets / milieu » ou du couple « matériau contenant des déchets / milieu », c'est-à-dire à comparer le flux de polluants émis et le flux acceptable par le milieu récepteur.

La France travaille actuellement sur l'établissement d'une norme sur l'étude du comportement à long terme (X 30-407) qui a servi de base de travail au niveau européen et a permis d'aboutir à la Norme ENV 12 920.

REGLEMENTATIONS APPLICABLES AUX CENDRES DE COMBUSTION DE BOIS



VALORISATION AGRICOLE

Situation de la filière et évolution

La valorisation agricole représente la filière la plus développée à ce jour bien qu'elle ne soit pas parfaitement maîtrisée et réglementée à ce jour. Les cendres biomasse (souvent en mélange avec du compost ou du lisier) sont épandues sur des parcelles agricoles en tant que fertilisant ou amendement calcique. Quelques essais de recherche sur la faisabilité technico-économique et des expériences pilotes d'épandage ont été réalisées ou sont en cours. Pour de faible gisement, il pourra être judicieux de rechercher des niches correspondant à des épandages sur cultures spécifiques.

En complément de la valorisation par épandage, l'utilisation de cendres de biomasse comme apport de chaux, phosphore et potassium dans la fabrication des engrais et amendement pourrait être envisagé.



Définition

Cette filière agricole est basée sur le potentiel en matière d'amendement et de fertilisant des cendres biomasse. Les cendres biomasse présentent de plus le gros avantage de ne pas provoquer de nuisances olfactives et de ne pas apporter d'azote. Les cendres issues de biomasse non traitée ne contiennent pas de substances toxiques.

Cette filière présente également l'avantage de fournir des débouchés locaux et d'être envisageable pour des gisements compris entre 10 à 1 000 t par an.

Les expériences d'épandage ont démontré que les doses à épandre doivent être comprises entre 3 et 10 t/ha avec un retour sur la même parcelle de 1 à 3 ans.



Législation en vigueur

Il n'existe actuellement aucune réglementation ou norme concernant l'épandage des cendres biomasse sur parcelles agricoles.

Rappelons que concernant l'épandage des déchets et sous-produits de traitement, les chaufferies bois à puissance :

- inférieures à 2 MW ne sont pas des ICPE et doivent respecter le Règlement Sanitaire Départemental, donc l'épandage ne devrait être toléré que pour des produits normalisés ou homologués,
- comprises entre 2 et 20 MW, sont des ICPE 2910 A soumises à déclaration pour lesquelles, actuellement rien n'est précisé concernant l'épandage des cendres,
- supérieures à 20 MW (2910 A) ou supérieures à 0,1 MW (2910 B) sont des ICPE soumises à autorisation, l'épandage peut se faire soit selon un plan d'épandage, soit si les produits sont homologués ou normalisés.

Avant d'épandre des cendres, il faut en connaître la valeur agronomique et vérifier leur innocuité. Comme il n'existe pas de texte réglementaire fixant des teneurs limites en métaux dans les cendres, l'arrêté du 08/01/98, relatif à l'épandage des boues de station d'épuration, a été pris en référence (voir en annexe).

Certains métaux peuvent ainsi représenter un intérêt agronomique en deçà d'un seuil.



Gestion amont

Ce type de valorisation concerne les cendres obtenues à partir de biomasse non traitée (plaquettes forestières et écorces). Préalablement au stockage et à l'épandage, les cendres sèches doivent être prétraitées afin de favoriser la manutention et limiter l'envol de poussières, deux solutions technologiques principales sont répertoriées :

- injection d'eau dans les cendres pulvérulentes pour parvenir à une humidité d'environ 35 % sur masse brute puis stockage des cendres solidifiées et concassage lors du chargement.
- granulation, c'est à dire compaction des cendres sèches.

Afin d'éviter la présence d'éléments grossiers dans les cendres, incompatible avec les épandeurs et nuisant à l'image du produit, il pourra être envisagé de placer un cribleur en sortie de chaudière.

Après prétraitement, les cendres seront stockées jusqu'à la période d'épandage qui est fonction de la cultures et des conditions climatiques.

Le stockage devra se faire, selon les quantités concernées, soit en benne de 20 m³ soit sur plate-forme couverte en tas.



Description technique

Après conditionnement, les cendres seront stockées jusqu'à la période d'épandage. Les cendres conditionnées seront alors transportées sur les parcelles agricoles accessibles et épandues à l'aide de matériel agricole (type hérissons verticaux et table d'épandage).

L'épandage agricole se décompose donc en plusieurs étapes (prétraitement, stockage, reprise, transport et épandage) dont la maîtrise aura pour principale conséquence la pérennisation de la filière.

Préalablement, des études de faisabilité technico-économique et expérimentations à moyen et long terme devront être réalisées afin de définir précisément les quantités à épandre ainsi que les parcelles et les cultures les mieux appropriées aux caractéristiques des cendres. Il serait intéressant pour les grosses chaufferies ayant des produits importantes de chercher des parcelles diversement cultivées afin que les périodes d'épandage puissent être étalées tout au long de l'année afin d'éviter un stockage trop important sur la chaufferie. Par exemple, une prairie (épandage en autonomie et en hiver), céréales (épandage juillet à septembre), maïs (épandage mars-avril et septembre).



Aspects économiques

L'épandage agricole des cendres biomasse se décompose donc en plusieurs étapes qui pourraient être les suivantes : le prétraitement par injection d'eau, le stockage des cendres sur l'unité de production (surface de stockage à prévoir lors de la construction de la chaufferie ou bennes), le chargement (matériel de la chaufferie), le transport et l'épandage :

- prétraitement : inclus dans le coût de fonctionnement de la chaufferie,
- stockage :
 - ⇒ pour production < 100 t ➤ en bennes : location de 600 F par mois et par benne de 20 m³ soit environ 14 t (remplis à 90%),
 - ⇒ pour production > 100 t ➤ en tas sur plate forme couverte : de 78 à 134 F/t selon le tonnage (100 à 500t).
- transport : 16 x F par chargement de 20 m³/km ou à la charge du propriétaire de la parcelle boisée,
- épandage : à la charge du propriétaire de la parcelle boisée.

A ces coûts; il convient d'ajouter les frais d'analyse régulière des cendres et des sols récepteurs. Le coût est de l'ordre de 4 500 F HT par analyse complète.



Les acteurs

☐ Les prestataires

- Coopératives agricoles,
- Exploitants agricoles.

☐ Les institutionnels

- ADEME,
- MATE,
- MAP,
- DDAF.

ANNEXE

Analyses à effectuer sur les cendres (valeur agronomique du produit et teneurs limites en éléments traces)

	Eléments	Teneurs limites mg/kg de MS avec pH<6 sol (éventuellement si pH>5 et boues traitées à la chaux et flux cumulé max>prescriptions	Flux maximum cumulé, apporté par les boues sur 10 ans (g/m2), pour les sols de pH < 6	Référence
Ce qui définit la valeur agronomique des boues	MS et MO a priori 100 et 0 %			Arrêté 08.01.98
	pH			«
	N total et N ammoniacal			«
	C/N			«
	P total (en P2O5)			«
	K total en K2O			«
	Mg total en MgO			«
	Ca total en CaO			«
	Oligo éléments B			«
	Co			«
	Cu	1000	1,5	«
	Fe			«
	Mn			«
	Mo			«
	Zn	3000	4,5	«
Composés à éviter	As	/		«
	Cd	20 (15 en 2001 et 10 en 2004)	0,03 (0,015 en 2001)	«
	Cr	1000	1,5	«
	Hg	10	0,015	«
	Ni	200	0,3	«
	Pb	800	1,5	«
	Se	/		«
	Cr + Cu + Ni + Zn	4000	6	«
	Total 7 principaux PCB*	0.8	1,2	«
	Fluoranthène	5 (4 sur pâturages)	7,5 (6 sur pâturages)	«
	benzo(b)fluoranthène	2.5	4	«
	benzo(a)pyrène	2 (1,5 sur pâturages)	3 (2 sur pâturages)	«
Pour mériter la normalisation engrais	N + P ₂ O ₅ +K ₂ O	> 7 % MS		NF U-42001
	P ₂ O ₅	> 2 % MS		«
	K ₂ O	> 5 % MS		«
Conseillé même si rien n'est indiqué	Dioxine (<i>contenues plutôt dans les cendres volantes que sous foyer</i>)			non réglementé
	Mâchefer dans les cendres			non réglementé
	Granulométrie			non réglementé

(*) PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180

La fréquence des mesures pour chaque élément est fonction du tonnage de matières sèches épandues (hors chaux)(arrêté du 08.01.98) et au moins tous les 6 mois (Directive du 12.06.86 - 278).

L'arrêté du 08.01.98 concernant les boues issues du traitement des eaux usées.

Analyses à effectuer sur le sol récepteur

Avant d'épandre, il est nécessaire aussi de vérifier que le sol est apte à recevoir une matière fertilisante. L'épandage ne sera pas possible par exemple sur un sol trop acide (pH < 5) ou trop pollué.

Référence	Arrêté 8 janvier 1998	Arrêté 8 janvier 1998
Objet	boues issues traitement eaux usées	boues issues traitement eaux usées
Elément ou composés chimiques	Valeurs limites mg/kg de MS de concentration dans les sols avec 6<pH sol (éventuellement si pH>5 et boues traitées à la chaux et flux cumulé max>prescriptions)	Flux maximum cumulé, apporté par les boues sur 10 ans (g/m ²), pour les sols de pH < 6 ou pour les pâturages
Cadmium	2	0.015
Chrome	150	1.2
Cuivre	100	1.2
Mercure	1	0.012
Nickel	50	0.3
Plomb	100	0.9
Zinc	300	3
Sélénium	/	0.12 (pour pâturages uniquement)
Cr + Cu + Ni + Zn	/	4
Molybdène	/	/

VALORISATION FORESTIERE

Situation de la filière et évolution

Cette filière n'est pas développée en France et il n'existe pas d'expériences pilote d'épandage forestier. Par contre, cette filière est utilisée dans les pays scandinaves et dans une moindre mesure aux Etats-Unis.



Définition

Cette filière est basée sur l'écocycle artificiel des minéraux, c'est à dire la restitution en forêt des éléments minéraux fertilisants exportés lors de l'exploitation du bois.

Selon les études menées dans les pays Scandinaves, l'épandage forestier des cendres a des effets positifs sur la fertilité des sols (en particulier la fertilisation phosphatée) et la croissances des arbres. Selon ces mêmes études, l'efficacité serait meilleure sur les arbres feuillus en raison de leurs besoins plus élevés en potassium, calcium et magnésium.

Les doses à épandre doivent être déterminées avec précision afin d'éviter une augmentation trop importante du pH du sol et une diminution des réserves d'azote de la forêt. Selon les essais d'épandage réalisés à l'étranger, les doses à épandre sont comprises entre 10 et 20 t/ha.



LOIS

Législation en vigueur

Il n'existe actuellement aucune réglementation ou norme concernant l'épandage des cendres biomasse sur parcelles boisées.

Néanmoins, l'épandage forestier est actuellement étudié pour les boues de STEP. Le MATE et le MAP ont créé en 1999 le comité technique pilotage national « épandage des boues de STEP sur parcelles boisées » afin de préparer le futur arrêté sur l'épandage des boues sur parcelles boisées.

Rappelons que concernant l'épandage des déchets et sous-produits de traitement, les chaufferies bois à puissance :

- inférieures à 2 MW ne sont pas des ICPE et doivent respecter le Règlement Sanitaire Départemental, donc l'épandage ne devrait être toléré que pour des produits normalisés ou homologués,
- comprises entre 2 et 20 MW, sont des ICPE 2910 A soumises à déclaration pour lesquelles, actuellement rien n'est précisé concernant l'épandage des cendres,
- supérieures à 20 MW (2910 A) ou supérieures à 0,1 MW (2910 B) sont des ICPE soumises à autorisation, l'épandage peut se faire soit selon un plan d'épandage, soit si les produits sont homologués ou normalisé.

Avant d'épandre des cendres, il faut en connaître la valeur agronomique et vérifier leur innocuité. Comme il n'existe pas de texte réglementaire fixant des teneurs limites en métaux dans les cendres, l'arrêté du 08/01/98, relatif à l'épandage des boues de station d'épuration, a été pris en référence (voir en annexe).

Certains métaux peuvent ainsi représenter un intérêt agronomique en deçà d'un seuil.



Gestion amont

Ce type de valorisation concerne les cendres obtenues à partir de biomasse pure. Préalablement au stockage et à l'épandage, les cendres sèches doivent être prétraitées afin de favoriser la manutention et limiter l'envol de poussières, deux solutions technologiques principales sont répertoriées :

- injection d'eau dans les cendres pulvérulentes pour parvenir à une humidité d'environ 35 % sur masse brute puis stockage des cendres solidifiées et concassage lors du chargement,
- granulation, c'est à dire compaction des cendres sèches.

Afin d'éviter la présence d'éléments grossiers dans les cendres, incompatible avec les épandeurs et nuisant à l'image du produit, il pourra être envisagé de placer un cribleur en sortie de chaudière.

Après prétraitement, les cendres seront stockées jusqu'à la période d'épandage à savoir après les coupes. Le stockage devra se faire, selon les quantités concernées, soit en benne de 20 m³ soit en tas sur plate-forme couverte.

L'épandage se fait après les périodes de coupe à des doses de 10 à 20 t/ha. Les superficies à épandre seront à rechercher en fonction des tonnages de cendres produits.



Description technique

Les cendres prétraitées seront alors transportées sur les parcelles forestières accessibles et épandues à l'aide de matériel agricole par exemple.

L'épandage forestier se décompose en plusieurs étapes (prétraitement, stockage, reprise, transport et épandage) dont la maîtrise aura pour principale conséquence la pérennisation de la filière. L'épandage en forêt nécessite du matériel adapté aux conditions de circulation (état des pistes) et à la configuration de la parcelle boisée (écartement entre troncs).

Préalablement, des expérimentations à long terme devront être réalisées afin de définir les quantités à épandre ainsi que les espèces et les situations forestières les mieux appropriées.



Aspects économiques

L'épandage forestier des cendres biomasse se décompose donc en plusieurs étapes qui pourraient être les suivantes: le prétraitement par injection d'eau (pour les cendres sèches), le stockage des cendres sur l'unité de production (surface de stockage à prévoir lors de la construction de la chaufferie), le chargement (matériel de la chaufferie), le transport et l'épandage :

- prétraitement : inclus dans le coût de fonctionnement de la chaufferie,
- stockage :
 - ⇒ pour production < 100 t ➤ en bennes : location de 600 F par mois et par benne de 20 m³ soit environ 14 t (remplie à 90%),
 - ⇒ pour production > 100 t ➤ en tas sur plate forme couverte : de 78 à 134 F/t selon le tonnage (100 à 500t). cf fiche de calcul
- transport : 16 F par chargement de 20 m³/km ou à la charge du propriétaire de la parcelle boisée,
- épandage : à la charge du propriétaire de la parcelle boisée.

A ces coûts; il convient d'ajouter les frais d'analyse régulière des cendres et des sols récepteurs. Le coût est de l'ordre de 4 500 F HT par analyse complète.



Les acteurs

Les prestataires

- Exploitants forestiers,
- Exploitants agricoles.

Les institutionnels

- ADEME,
- MATE,
- MAP,
- DDAF,
- ONF.

ANNEXE

Analyses à effectuer sur les cendres (valeur agronomique du produit et teneurs limites en éléments traces)

	Eléments	Teneurs limites mg/kg de MS avec pH<6 sol (éventuellement si pH>5 et boues traitées à la chaux et flux cumulé max>prescriptions	Flux maximum cumulé, apporté par les boues sur 10 ans (g/m ²), pour les sols de pH < 6	Référence
Ce qui définit la valeur agronomique des boues	MS et MO a priori 100 et 0 %			Arrêté 08.01.98
	pH			«
	N total et N ammoniacal			«
	C/N			«
	P total (en P ₂ O ₅)			«
	K total en K ₂ O			«
	Mg total en MgO			«
	Ca total en CaO			«
	Oligo éléments B			«
	Co			«
	Cu	1000	1,5	«
	Fe			«
	Mn			«
Mo			«	
Zn	3000	4,5	«	
Composés à éviter	As	/		«
	Cd	20 (15 en 2001 et 10 en 2004)	0,03 (0,015 en 2001)	«
	Cr	1000	1,5	«
	Hg	10	0,015	«
	Ni	200	0,3	«
	Pb	800	1,5	«
	Se	/		«
	Cr + Cu + Ni + Zn	4000	6	«
	Total 7 principaux PCB*	0.8	1,2	«
	Fluoranthène	5 (4 sur pâturages)	7,5 (6 sur pâturages)	«
benzo(b)fluoranthène	2.5	4	«	
benzo(a)pyrène	2 (1,5 sur pâturages)	3 (2 sur pâturages)	«	
Pour mériter la normalisation engrais	N + P ₂ O ₅ +K ₂ O	> 7 % MS		NF U-42001
	P ₂ O ₅	> 2 % MS		«
	K ₂ O	> 5 % MS		«
Conseillé même si rien n'est indiqué	Dioxine (<i>contenues plutôt dans les cendres volantes que sous foyer</i>)			non réglementé
	Mâchefer dans les cendres			non réglementé
	Granulométrie			non réglementé

(*) PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180

La fréquence des mesures pour chaque élément est fonction du tonnage de matières sèches épandues (hors chaux)(arrêté du 08.01.98) et au moins tous les 6 mois (Directive du 12.06.86 - 278).

L'arrêté du 08.01.98 concernent les boues issues du traitement des eaux usées.

Analyses à effectuer sur le sol récepteur

Avant d'épandre, il est nécessaire aussi de vérifier que le sol est apte à recevoir une matière fertilisante. L'épandage ne sera pas possible par exemple sur un sol trop acide (pH < 5) ou trop pollué.

Référence	Arrêté 8 janvier 1998	Arrêté 8 janvier 1998
Objet	boues issues traitement eaux usées	boues issues traitement eaux usées
Elément ou composés chimiques	Valeurs limites mg/kg de MS de concentration dans les sols avec 6<pH sol (éventuellement si pH>5 et boues traitées à la chaux et flux cumulé max>prescriptions)	Flux maximum cumulé, apporté par les boues sur 10 ans (g/m ²), pour les sols de pH < 6 ou pour les pâturages
Cadmium	2	0.015
Chrome	150	1.2
Cuivre	100	1.2
Mercuré	1	0.012
Nickel	50	0.3
Plomb	100	0.9
Zinc	300	3
Sélénium	/	0.12 (pour pâturages uniquement)
Cr + Cu + Ni + Zn	/	4
Molybdène	/	/

VALORISATION DANS L'INDUSTRIE DE LA CERAMIQUE

Situation de la filière et évolution

Les activités liées à la céramique sont séparées en 3 secteurs : céramiques artisanales (poterie et décoration), céramiques traditionnelles (terre cuite, réfractaires, carrelage, sanitaire, porcelaine) et céramiques techniques (aéronautique, électronique). L'utilisation des cendres biomasse ne peut intervenir que dans les deux premiers secteurs (artisanales et traditionnelles). Actuellement, des cendres de biomasse sont utilisées dans le domaine de la céramique artisanale. Les potiers produisent et lavent des cendres afin de les intégrer dans les émaux comme matière première fondante. Les cendres permettent de jouer sur les couleurs et sur les motifs des céramiques obtenues. Aucune application n'a pour l'heure été répertoriée dans le domaine de la céramique traditionnelle mais la demande en matériaux de substitution dans ce domaine existe.



Définition

La composition chimique des cendres est compatible avec les compositions des céramiques dont les oxydes principaux sont : SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Fe_2O_3 et alcalins. Selon les avis d'experts de la céramique, le profil des cendres est intéressant pour le secteur de la céramique traditionnelle avec un intérêt plus marqué pour les réfractaires et le sanitaire. En terme de besoin et sous réserve d'essais probants, 10 % des matières premières des industries de sanitaire pourraient être substituées par des cendres soit une consommation approximative de 2t/j par usine soit un besoin annuel de l'ordre de 500 t par usine.



Législation en vigueur

Il n'existe actuellement aucune réglementation ou norme concernant l'intégration des cendres de biomasse dans les émaux. Néanmoins, la technique de fabrication des céramiques conduit à la vitrification des cendres, ce qui équivaut à une stabilisation au sens de la réglementation sur les déchets ; en conséquence le produit obtenu ne devrait pas avoir d'impacts environnementaux.



Gestion amont

Selon le type de cendres, l'utilisation envisagée (sanitaire, réfractaire, produits rouges...) et les résultats des essais préalables, un traitement des cendres pourra être nécessaire.

Pour les cendres sèches :

- séparation des imbrûlés et éléments inertes,
- extinction de la chaux vive,
- lavage des cendres (qui favorisera la manutention).

Pour les cendres humides, le prétraitement se réduit à la séparation des imbrûlés et éléments inertes. En fonction des exigences industrielles, cette préparation du matériau pourrait être assurée par l'industriel ou par l'exploitant de la chaufferie.

Après prétraitement, les cendres seront stockées en tas sur une plate forme couverte avant transport chez l'industriel.



Description technique

Préalablement à l'incorporation des cendres dans les bains d'émaux, il conviendra de réaliser une étude, par type de cendre, de mise en situation de comportement céramique :

- comportement pyroscopique,
- évolution de la couleur,
- évolution de la texture,
- comportement rhéologique.

Ces essais permettront de déterminer le type d'application ainsi que la proportion de cendres qu'il sera techniquement possible de substituer aux matières premières.

En annexe, il est présenté les différentes analyses à effectuer. Les intervalles, dans lesquels doivent se trouver les paramètres mesurés, seront à préciser en fonction des résultats des études de faisabilité et des domaines de la céramique concernés.



Aspects économiques

Le coût de l'analyse préalable (en laboratoire) est de l'ordre de 12 000 F HT par origine de cendre. Des essais industriels préalables seront également nécessaires.

Le coût de fonctionnement sera composé du coût de stockage et de transport de la chaufferie à l'entreprise de céramique :

- Plate-forme de stockage (amortissement sur 15 ans à 6 %) :
 - 100 tonnes : 134 F/t,
 - 200 tonnes : 113 F/t,
 - 500 tonnes : 78 F /t,
- Transport : 16 F/bennes de 20 m³/km.

En l'absence de données plus précises, actuellement, on considère que le produit sera prétraité, si nécessaire, par l'industriel et qu'il sera repris à coût zéro.



Les acteurs

Les prestataires

Un industriels de la céramique traditionnelle :

- terre cuite (tuiles, briques),
- réfractaires (cheminées, briques isolantes),
- carrelage,
- sanitaire,
- Porcelaine.

Les institutionnels

- ADEME,
- Société Française de Céramique,
- Institut de Céramique Française.

ANNEXE

Paramètres à déterminer pour évaluer la compatibilité des cendres avec les émaux

- Teneurs en oxydes principaux : SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO
- Teneur en chaux libre ($\text{CaO} + \text{Ca(OH)}_2$) et spéciation de la chaux,
- Teneurs en fondants alcalins : Na_2O et K_2O ,
- Teneurs en oxydes colorants : Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO ,

- Teneurs en imbrûlés par perte au feu,

- Cuisson gradient entre 1000 et 1300 °C :
 - Comportement pyroscopique,
 - Evolution de la couleur,
 - Evolution de la texture (densification, alvéolage, bouillonnement),

- Comportement rhéologique :
 - Viscosité,
 - Demande en défloculant,
 - Concentration maximale,

- Etat de finesse, granulométrie.

Ces essais devront être réalisés pour chaque origine de cendre, de façon régulière et à chaque modification des paramètres de la chaufferie et du process de fabrication des céramiques.

Le coût d'une analyse complète est de l'ordre de 12 000 F HT par échantillon.

VALORISATION DANS LES DOMAINES DE LA CONSTRUCTION ET DES TRAVAUX PUBLICS

Situation de la filière et évolution

Les activités liées au BTP peuvent être séparées en deux secteurs : matériaux pour la construction et matériaux pour les travaux publics.

Ces deux secteurs utilisent depuis de nombreuses années des sous produits d'autres secteurs industriels, on peut citer les cendres volantes de combustion de charbon pour le secteur de la construction et les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) dans le domaine des travaux publics et au stade de la recherche dans la fabrication de matériaux de construction.

Aucune application industrielle n'a pour l'heure été répertoriée dans ces domaines. Néanmoins, dans le secteur de la construction, des expérimentations ponctuelles semblent avoir été réalisées :

- Collaboration entre exploitant de chaufferie et cimentier,
- Ajout de cendres biomasse pour la fabrication de parpaings, briques.



Définition

La composition chimique des cendres est compatible avec les compositions des matériaux du BTP (tels que ciment, MIOM ...) dont les oxydes principaux sont : SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Fe_2O_3 et alcalins.

Selon les avis des cimentiers, le profil des cendres semble peu intéressant pour le secteur cimentier du fait du faible gisement et de leur composition intrinsèque (teneurs en chaux libre, fraction soluble, teneurs en métaux, faible activité pouzzolanique...). Néanmoins, sous réserve d'un prétraitement et d'un gisement conséquent (chaufferie de forte puissance ou cendres biomasse en mélange avec des cendres d'autres origines), ces cendres pourraient être valorisées dans les domaines de la fabrication de parpaings, briques....

Par analogie avec les MIOM et, sous réserve de respecter les seuils définis par la circulaire du 9 mai 1994, les cendres biomasse pourraient être utilisées dans le domaine des travaux publics (sous couche ou couche de fondation).



Législation en vigueur

Il n'existe actuellement aucune réglementation ou norme concernant l'intégration des cendres de biomasse dans les domaines de la construction. Néanmoins, il pourrait être envisageable de se rapprocher des normes existantes pour les sous produits industriels déjà utilisés dans ces domaines (cendres volantes de charbon, laitiers, MIOM).



Gestion amont

Selon le type de cendres, l'utilisation envisagée et les résultats des essais préalables, un traitement des cendres pourra être nécessaire.

Pour les cendres sèches :

- séparation des imbrûlés et éléments inertes,
- extinction de la chaux vive,
- lavage des cendres (qui favorisera la manutention).

Pour les cendres humides, le prétraitement se réduit à la séparation des imbrûlés et éléments inertes.

En fonction des exigences industrielles, cette préparation du matériau pourrait être assurée par l'industriel ou par l'exploitant de la chaufferie.

Après prétraitement, les cendres seront stockées en tas sur une plate forme couverte avant transport chez l'industriel.



Description technique

Préalablement à l'incorporation des cendres dans les matériaux de construction, il conviendra de réaliser une étude, par type de cendre, de faisabilité technico économique.

Ces essais permettront de déterminer le type d'application ainsi que la proportion de cendres qu'il sera techniquement possible de substituer aux matières premières.

En annexe, il est présenté les différentes analyses à effectuer. Les intervalles, dans lesquels doivent se trouver les paramètres mesurés, seront à préciser en fonction des résultats des études de faisabilité et des domaines concernés.



Aspects économiques

Le coût de fonctionnement sera composé du coût de stockage et de transport de la chaufferie à l'entreprise de BTP :

- Plate-forme de stockage (amortissement sur 15 ans à 6 %) :
 - 100 tonnes : 134 F/t,
 - 200 tonnes : 113 F/t,
 - 500 tonnes : 78 F /t,

- Transport : 16 F/bennes de 20 m³/km.

En l'absence de données plus précises, actuellement, on considère que le produit sera prétraité, si nécessaire, par l'industriel et qu'il sera repris à coût zéro.

A ces coûts, il convient d'ajouter les frais d'analyse qui sont de l'ordre de 10 000 F HT par échantillon. Ce coût global d'analyse n'inclut pas les essais de comportement à long terme ou les essais de comportement in situ ou industriels.



Les acteurs

Les prestataires

Un industriel du BTP :

- Cimentier,
- Fabricant de matériaux,
- Entreprises de travaux publics.

Les institutionnels

- ADEME,
- MATE,
- DDE.

ANNEXE

- **Mesures à effectuer pour une valorisation en technique routière (analogie avec la circulaire du 9 mai 1994 concernant les MIOM).**

	Catégorie V : utilisation en technique routière	Catégorie M : Maturation dans le but d'atteindre la catégorie V
Taux d'imbrûlés :	< 5 %	< 5 %
Fraction soluble :	< 5 %	< 10 %
Potentiel polluant par paramètre :		
Hg	< 0,2 mg/kg	< 0,4 mg/kg
Pb	< 10 mg/kg	< 50 mg/kg
Cd	< 1 mg/kg	< 2 mg/kg
As	< 2 mg/kg	< 4 mg/kg
Cr ⁶⁺	< 1,5 mg/kg	< 3 mg/kg
SO ₄ ²⁻	< 10 000 mg/kg	< 15 000 mg/kg
COT	< 1 500 mg/kg	< 2 000 mg/kg

Il convient d'ajouter à ces analyses, les caractérisations géotechniques des cendres seules ou probablement des cendres en mélange, ces essais sont en général :

- Granulométrie par tamisage et laser
 - Essai Proctor (modifié ou normal),
 - Indice portant immédiat (IPI),
 - Essai au bleu (VBS)
-
- **Mesures à effectuer pour une valorisation en matériaux de construction**
 - Teneurs en oxydes principaux : SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO
 - Teneur en chaux libre et spéciation de la chaux,
 - Teneurs en alcalins : Na₂O et K₂O,
 - Teneurs en métaux (principalement Pb, Zn, Cr, Cd)

 - Teneurs en imbrûlés par perte au feu < 5%
 - Mesure de la fraction soluble < 5%
 - Potentiel polluant par paramètres (cf classe V)

 - Activité hydraulique et pouzzolanique > 75%

 - Etat de finesse, granulométrie,
 - Rhéologie et comportement mécanique.

Ces essais devront être réalisés pour chaque origine de cendre, de façon régulière et à chaque modification des paramètres de la chaufferie et du process de fabrication des matériaux.

STOCKAGE OU ELIMINATION EN CENTRE D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE (CET II ou CSDU)

Situation de la filière et évolution

Cette filière est utilisée par de nombreux exploitants pour l'élimination de leurs cendres, son accès sera restreint à compter de juillet 2002. D'après la loi de 1992, ne seront acceptés en centre d'enfouissement que les déchets ultimes¹. Chaque département (dans le cadre de la révision du Plan Départemental d'Élimination des Déchets Ménagers et Assimilés) doit définir le terme « déchets ultimes », étant donné que le recyclage et la valorisation des déchets et produits doivent être favorisés.

Aussi, si l'acceptation des cendres n'est pas interdite en centre de stockage de déchets ultimes (CSDU²), elle sera plus contraignante. Les exploitants ou les Maîtres d'Ouvrage de la filière bois Energie devront s'inquiéter des conditions d'acceptation des cendres en CSDU, et définir si techniquement et économiquement les critères d'admission sont supportables pour l'industriel.



Définition

Il s'agit de stocker, dans des conditions d'admissions particulières, des déchets dans un site clos, contrôlé où les émissions sont limitées au maximum (en particulier les envols, les ruissellements et les lixiviats).



Législation en vigueur

Les décharges sont classées en trois catégories :

- **les installations de stockage de Classe 1** sont réservées aux déchets industriels spéciaux (DIS),
- **les installations de stockage de Classe 2** admettent les déchets municipaux et les déchets industriels banals (DIB),
- **les installations de stockage de Classe 3** n'acceptent que les déchets inertes.

Les cendres devraient faire partie des déchets admissibles en CET II. Elles entrent dans la catégorie E2 qui comprennent notamment les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères, les cendres et suies issues de la combustion du charbon...

Les cendres de chaufferies bois ne sont pas citées notamment en tant que déchets interdits dans l'arrêté du 09/09/1997 sur les installations de stockage et déchets ménagers. Elles ne correspondent pas aux caractéristiques des déchets interdits sous réserve qu'elles aient une siccité > 30 % et d'une teneur en PCB < 50 mg/kg.

¹ Il s'agit de résidus qui ne sont plus « susceptibles d'être traités dans des conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux ».

² Centre de stockage de déchets ultimes.



Gestion amont

Les cendres ne nécessitent pas de traitement amont, une attention devra toutefois être portée pour le stockage sur installation. Le conditionnement en benne fermée est conseillé. Afin d'éviter tout envol, principalement pour les cendres obtenues par extraction sèche, le stockage en benne (2 bennes de 20 m³) doit se faire sur une aire stabilisée voir enrobé, pour faciliter l'accès des camions venant les prendre en charge. L'emplacement est à optimiser en fonction des aménagements existants.



Description technique

La conformité des cendres aux conditions d'admission imposées par le CET II ou le CSDU doit être attesté par une procédure d'informations préalable ou d'acceptation préalable si un critère d'admission doit faire l'objet d'analyse particulière.

Les procédures renouvelées annuellement se traduisent par un contrat d'acceptation et un contrat signé avec l'exploitant du CET. Les cendres transportées et acheminées sur ce site sont ensuite entièrement prises en charge par l'exploitant du CET.



Aspects économiques

Les conditions plus strictes du stockage des déchets ultimes, applicables dès 2002 devraient avoir comme conséquence une augmentation des coûts de dépôt de ces déchets dans le CSDU.

Les coûts actuels sont de :

- création d'une aire de stockage des bennes = 48 000 F (400 F x 120 m²),
- location de 2 bennes = 2 x 600 F/mois, soit 14 400 F/an,
- transport des bennes = 16 F/benne/km,
- stockage en CSDU = 250 F HT/t à 400 F HT/t selon la région.



Les acteurs

Les institutionnels

- ADEME,
- MATE,
- DRIRE.

Les prestataires

Voir les centres de stockage en activité dans les régions concernées et les conditions d'acceptations.

1 - ETUDE DU GISEMENT DE CENDRES

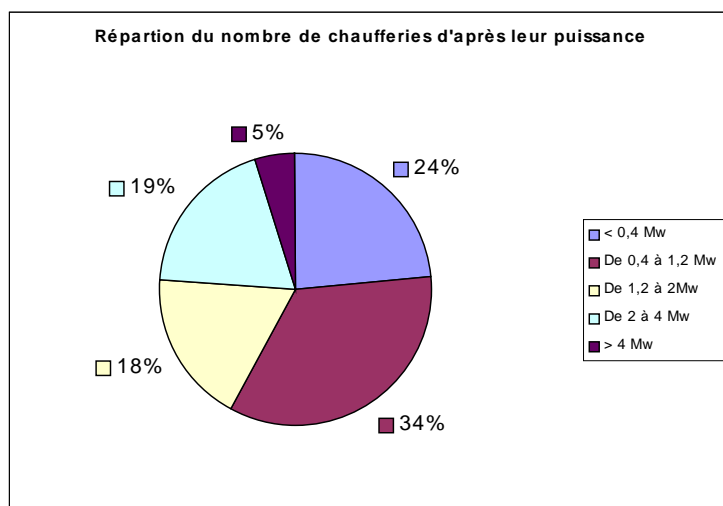
1.1 - RECENSEMENT DES INSTALLATIONS ET DES PUISSANCES INSTALLEES

Il est possible de dénombrer environ 430 installations de combustion utilisant de la biomasse ou des déchets bois. La liste complète des chaufferies est donnée en annexe 1.

Elle a été établie :

- d'après les références de constructeurs de chaudières,
- d'après les données fournies par l'ADEME.

Le graphique ci-après présente une répartition du nombre de chaufferies en fonction des puissances installées.



Il est à noter que plus de la moitié des chaufferies a une puissance inférieure à 1,2 MW et que 40 % des installations sont de moyenne puissance (comprise entre 1,2 et 4 MW). Seulement 5 % des équipements ont une puissance supérieure à 4 MW.

La puissance installée totale est évaluée à 570 MW.

1.2 - TYPES DE COMBUSTIBLES

Les installations recensées couvrent une large palette en terme de combustibles. Les informations demeurent parcellaires, toutefois on a rencontré au moins 6 catégories :

- plaquettes sèches,
- plaquettes humides,
- écorces,
- briquettes/palettes,
- paille.

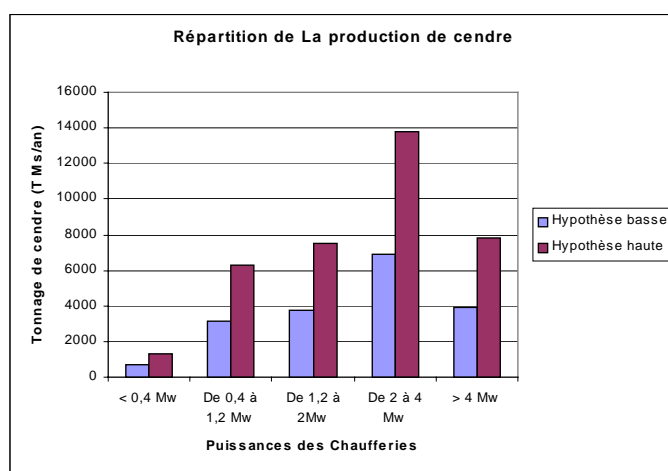
1.3 - GISEMENT DE CENDRES

Pour évaluer le gisement de cendres, les hypothèses suivantes ont été utilisées :

- consommation de combustible correspondant à un taux de couverture variant de 80 à 90 % soit une consommation de 1 450 t/MW installée,
- production de cendres : taux de cendres variant de 2 % (hypothèse basse) à 4 % (hypothèse haute) du tonnage de combustibles entrant.

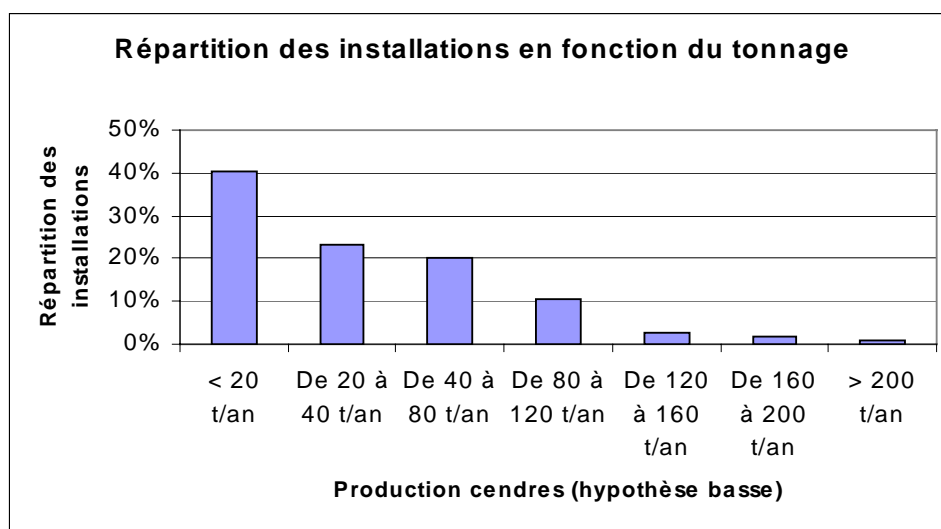
Sur ces bases, le tonnage total de cendres est évalué de 18 000 à 37 000 t/an suivant l'hypothèse retenue.

Le graphique ci-après propose une répartition des tonnages de cendres produites en fonction de la puissance des chaudières.



Indépendamment du taux de cendre, environ 41 % du tonnage total de cendres est produit par les installations d'une puissance inférieure à 2 MW (qui ne sont pas des ICPE), les 59 % restants étant générés par les équipements de plus de 2 MW (qui sont des ICPE soumises à déclaration).

La répartition des installations par tonnages de cendres est donnée dans le graphique suivant.



Il est important de souligner que les productions de cendres par installation sont la plupart du temps très faibles. En effet, pour une hypothèse de taux de cendre de 2 %, 60% des installations produisent moins de 40 t/an de cendres sèches et moins de 20 % des installations voient leur production de cendres dépasser plus de 80 t/an.

2 - CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE

2.1 - CARACTERISATIONS ISSUES DE LA BIBLIOGRAPHIE

2.1.1 Préambule

La valorisation d'un sous-produit, quel qu'il soit, nécessite une parfaite connaissance de ses caractéristiques, elles-mêmes étroitement liées à sa genèse. Les filières de valorisation sont conditionnées par les propriétés du matériau et leur méconnaissance engendre soit une restriction des voies de réutilisation, soit des campagnes de validation trop longues au regard de leur succès.

Lorsque les cendres ne sont pas déposées en centre de stockage pour déchets ménagers et assimilés (CET II), elles sont utilisées dans l'agriculture en tant que matières fertilisantes (engrais ou amendements). Aussi, les quelques analyses de cendres dont on dispose sont orientées par rapport à cette voie de valorisation. Les dosages généralement effectués sur les cendres sont les suivants :

Paramètres définissant la valeur agronomique	MS, MO, pH, N (total et ammoniacal), C/N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, MgO, CaO, oligo-éléments
Composés indésirables pour la valorisation agricole	As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn, PCB, dioxines, HAP

La composition des cendres de bois est très variable et dépend principalement du combustible utilisé et des conditions de combustion (température, degré de combustion). Ce dernier paramètre peut être relié à la puissance de la chaudière. La température de combustion affecte largement le taux de cendre (diminution de 45 % lorsque la température passe de 538 à 1 093 °C) et la composition chimique des cendres produites. D'une manière générale, lorsque la température augmente, les concentrations en sodium, potassium et zinc diminuent alors que les teneurs des autres métaux restent constantes ou augmentent [Etiégni, Campbell 1990].

Il est également à noter que l'extraction des cendres (méthode d'enlèvement des cendres) peut se faire par voie sèche ou par voie humide. Aussi, en plus de la teneur en eau des cendres plus élevée dans le cas de l'extraction humide, cette hydratation peut conduire à la lixiviation de certains éléments solubles et à une modification minéralogique des cendres.

Néanmoins, d'une manière très générale, le bois ramené à sa masse anhydre produit 2 à 5 % de cendres. Le tableau suivant [analyses ELF France] présente des plages de taux de cendre pour différents types de combustible.

Combustible	Taux de cendre % (sur sec)
Sciure humide	1 à 2
Ecorce broyée	5 à 10
Plaquette forestière	1 à 2
Souches broyées (pin)	1 à 3
Copeau-sciure	1
Granulés de bois	1 à 2
Paille de blé	7

Ces cendres se caractérisent par une teneur approximative de 15 % de sels alcalins solubles dont une proportion importante sous forme de calcium et de sodium. Elles se composent essentiellement de chaux, silice, magnésie, potasse et acide phosphorique.

Selon la nature du combustible (à combustion équivalente), les principaux paramètres constitutifs peuvent varier de 1 à 10.

2.1.2 Influence du combustible (essence du bois)

Les deux tableaux suivants [Someshwar 1996] présentent les compositions chimiques élémentaires de cendres de bois et de cendres d'écorces pour différents types de bois.

	Composition des cendres d' ECORCE de						Moyenne	Mini	Maxi
	Données de 1992 (%)				Données de 1993 (%)				
	Pin	Chêne	Epicéa	Séquoïa	Chêne "blanc"	Sapin Douglas			
Al	7,41	0,05	5,87	2,12	0,00	0,59	2,67	0,00	7,41
Ca	18,22	46,10	18,08	4,29	36,14	34,26	26,18	4,29	46,10
Fe	2,10	2,31	4,48	2,45	0,01	0,26	1,94	0,01	4,48
K	3,30	0,11	1,32	5,83	0,97	2,78	2,39	0,11	5,83
Mg	3,92	0,72	2,47	3,98	0,34	0,37	1,97	0,34	3,98
Mn	0,00	0,00	1,08	0,07	0,16	0,37	0,28	0,00	1,08
Na	0,96	6,60	5,93	13,35	0,00	0,00	4,47	0,00	13,35
P	NM	NM	NM	NM	0,08	0,51	0,30	0,08	0,51
S	0,12	0,80	0,84	2,96	0,40	0,52	0,94	0,12	2,96
Si	18,23	5,19	14,96	6,68	0,12	0,24	7,57	0,12	18,23
Ti	0,12	0,06	0,48	0,18	NM	NM	0,21	0,06	0,48
Taux de cendres	2,90	5,30	3,80	0,40	NM	NM	3,10	0,40	5,30

NM : non mesuré

Compositions de cendres d'écorces (%)

Composition de la cendre de (Données 1993 en %)								
	Pin	Tremble	Peuplier	Chêne rouge	Chêne "blanc"	Moyenne	Mini	Maxi
Al	0,47	0,14	0,35	0,68	0,00	0,33	0,00	0,68
Ca	29,05	21,17	25,67	36,58	31,35	28,76	21,17	36,58
Fe	0,58	0,26	0,32	NM	0,09	0,31	0,09	0,58
K	16,24	11,25	7,93	6,08	10,25	10,35	6,08	16,24
Mg	7,03	3,55	9,09	5,20	7,57	6,49	3,55	9,09
Mn	4,04	0,14	0,45	1,49	0,14	1,25	0,14	4,04
Na	0,06	0,06	2,30	0,08	0,00	0,50	0,00	2,30
P	0,84	1,18	0,95	1,56	0,56	1,02	0,56	1,56
S	1,07	0,70	1,02	1,80	1,21	1,16	0,70	1,80
Si	0,00	0,11	0,00	0,00	0,13	0,05	0,00	0,13
Ti	0,11	NM	NM	NM	NM	0,11	0,11	0,11
Taux de cendres	NM	0,43	0,45	NM	0,87	0,58	0,43	0,87

NM : non mesuré

Compositions de cendres de bois (%)

On note donc l'influence importante du combustible (essence de bois) sur la composition des cendres et l'étalement important des compositions. Néanmoins, les éléments majeurs constituant ces cendres sont : Ca, Si, K, Mg, Al et Na.

Comparativement, les cendres d'écorce présentent des teneurs en silicium plus importantes que les cendres de bois. Au contraire, les cendres de bois se caractérisant par des teneurs en potassium plus élevées.

Le combustible utilisé peut également être un mélange de différents bois (déchets de bois mélangés), dans ce cas la composition des cendres sera fonction des bois utilisés et de leur proportion respectif.

A noter également qu'il existe des combustibles plus atypiques tels que les pailles (de blé, lavande...). Pour ce type de combustible, les compositions chimiques se caractérisent par des teneurs en potassium plus élevées et des teneurs en chaux plus faibles.

2.1.3 Cendres d'installations existantes

Dans le tableau suivant sont indiquées les caractéristiques de deux chaudières bois (en cours de fonctionnement) et les compositions correspondantes des cendres obtenues.

Dans le cas de la chaudière de Dole, l'extraction des cendres est réalisé par voie sèche contrairement à la chaufferie d'Autun où l'extraction des cendres se fait par voie humide.

<i>Localisation</i>	Dole	Autun
consommation bois (t/an)	12000	20000
cendre (t/an)	300	800
taux de cendre	2,50%	4,00%
combustible	écorce	déchets ligneux (déchets de scierie)
puissance MW	3,2	8
Matière sèche	100,00%	60,90%
humidité	0,00%	39,10%
pH		12,6
C/N (total)	178	3,2
Matière organique (% MS)	0,3	0,4
N total (% MS)		0,07
CaO (%MS)	43,2	43,8
P2O5 (%MS)	1,1	0,6
K2O (%MS)	3,3	2,3
MgO (%MS)	1,7	1
Na2O (%MS)		0,5
SiO2 (%MS)		46
Al2O3 (%MS)		
FeO (%MS)		
Pb (mg/kg sec)	93	53
Zn (mg/kg sec)	135	186
Cd (mg/kg sec)	1	2,7
Cr (mg/kg sec)	47	37
Cu (mg/kg sec)	67	65
Ni (mg/kg sec)	26	18

Ces cendres obtenues dans des chaudières de puissance différente sont chimiquement voisines, le combustible utilisé doit donc être similaire (écorce de la même essence de bois).

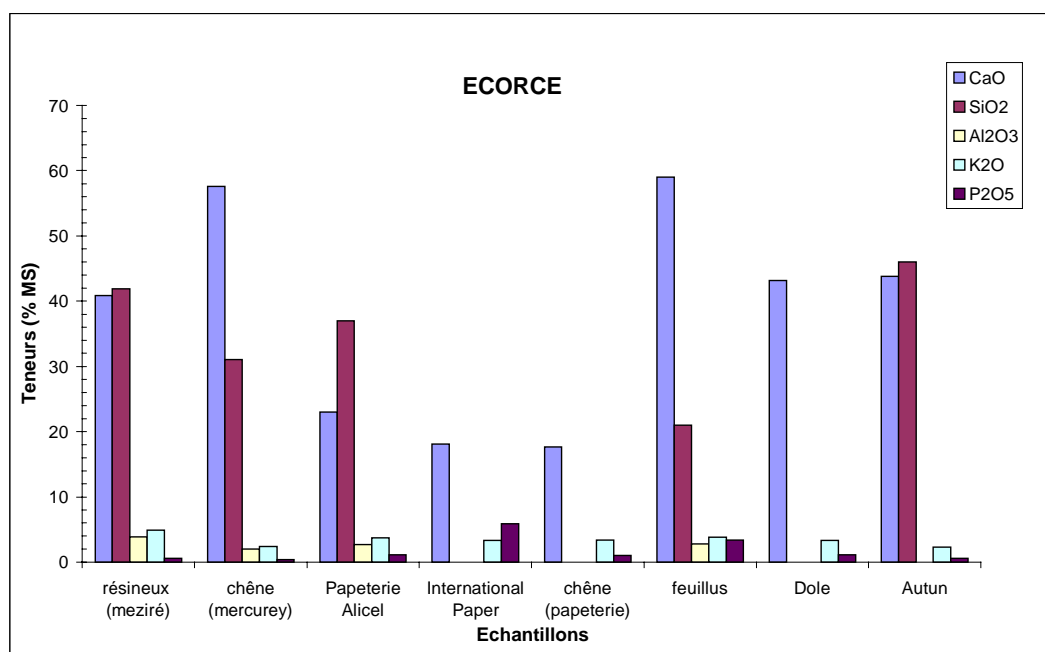
Ces cendres se caractérisent par des teneurs importantes en CaO (sous une forme à déterminer), c'est à dire qu'elles présentent un potentiel basique important. Dès lors, ces cendres peuvent être considérées comme amendement calcique (sous réserve de répondre à la norme NFU-44-203 : Matières fertilisantes ayant des caractéristiques mixtes - Amendements calciques t/ou magnésiens), lors de la valorisation agricole, puisqu'elles participent à l'apport de chaux pour lutter contre l'acidification du sol. Par contre, les teneurs en P, K et Mg ne permettent pas de les ranger dans la classe des engrais.

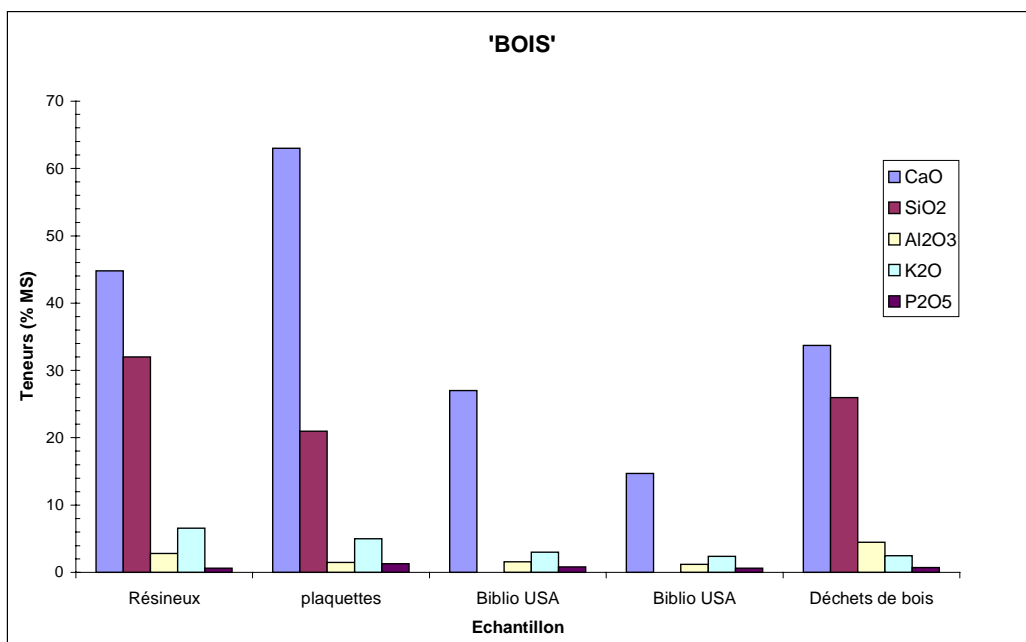
2.1.4 Synthèse bibliographique

Les histogrammes suivants présentent les teneurs de 5 oxydes pour quatre grandes familles de combustibles et 19 échantillons.

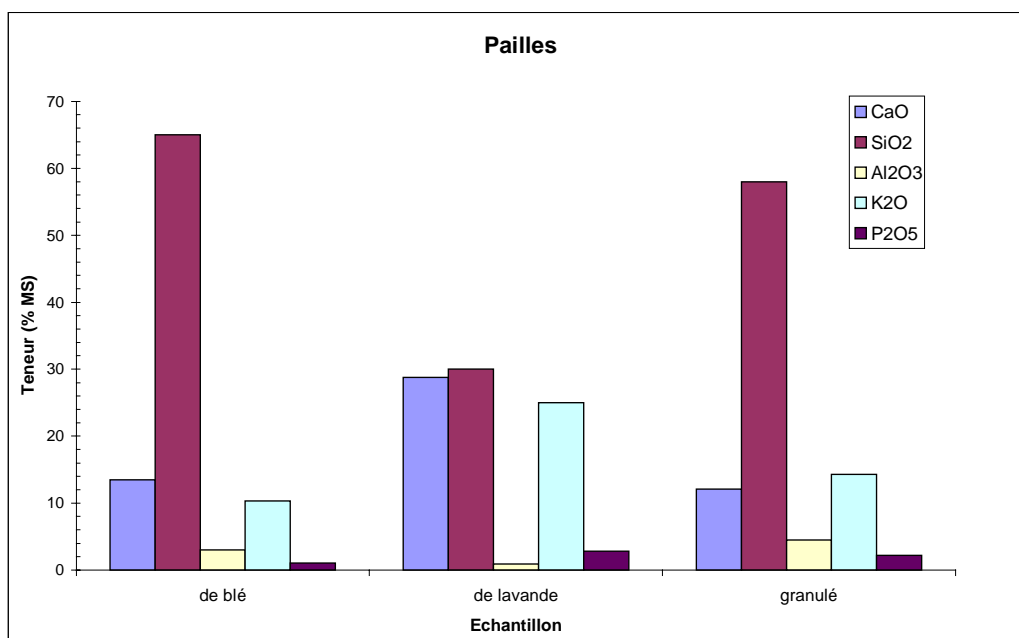
Dans le cas de la combustion d'écorces, les teneurs en silice et en chaux sont importantes et assez variables :

- de 20 à 60 % pour CaO,
- de 20 à 40 % pour SiO₂.

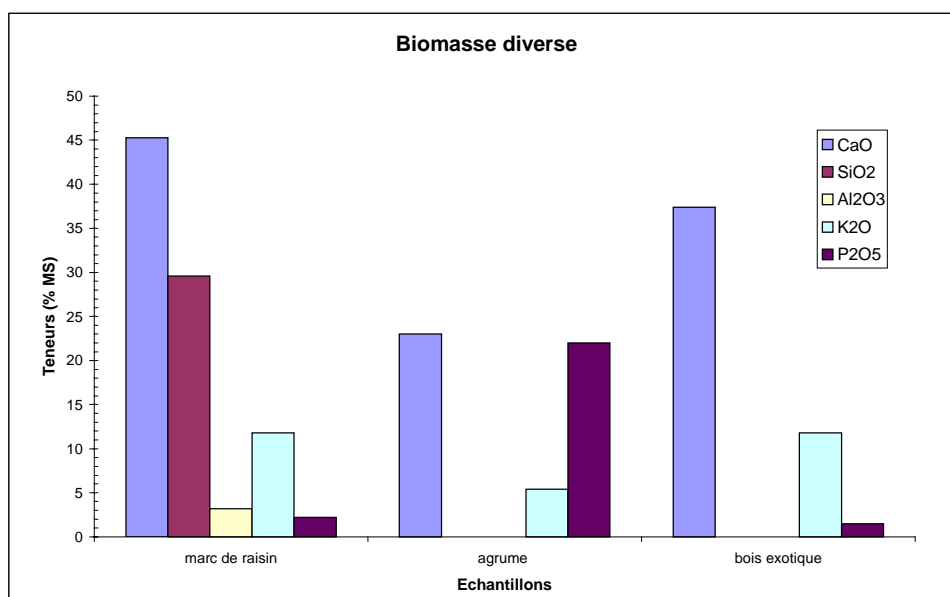




Les teneurs en potasse et acide phosphorique (dans le cas des écorces et du bois) sont faibles et ces concentrations ne sont pas suffisantes pour que les cendres soient considérées comme fertilisants.



Les pailles conduisent à la production de cendres riches en silice et en potasse. Par contre, les teneurs en chaux sont plus faibles.



Dans tous les cas, les cendres se caractérisent par des teneurs importantes en CaO, SiO₂ et K₂O. Les autres oxydes les plus rencontrés dans ces résidus de combustion sont : P₂O₅, MgO, Al₂O₃, FeO et Na₂O, globalement leurs teneurs sont comprises entre 0 et 10 %.

2.1.5 Premières conclusions

Du fait de leurs compositions, les cendres de combustion bois ont un intérêt agronomique sous réserve que les éléments toxiques (tels que métaux lourds, HAP...) ne constituent pas des facteurs limitants (cf. arrêté du 02-02-98 modifié le 17-08-98 applicable à l'épandage de déchets ou effluents provenant d'ICPE soumis au régime de l'autorisation) Des études antérieures (INRA, AGRO développement SA ...) ont ainsi permis d'envisager cette voie de valorisation. Néanmoins cette voie de valorisation reste limitée et les cendres de combustion bois sont 'concurrencées' par d'autres types de sous-produits tels que les boues de STEP.

Les compositions chimiques des cendres sont très étalées, la nature du bois (essence) ou le type de combustible utilisé a une très forte influence sur ces compositions (influence sans doute plus forte que la technique de combustion).

2.2 - CARACTERISATIONS ISSUES DES ANALYSES

2.2.1 Particularités des cendres retenues

Suite aux conclusions de la première phase de l'étude et à partir de la liste fournie par l'ADEME, 5 installations de combustion biomasse ont été visitées (3 en Basse Normandie et 2 en Savoie) et un prélèvement de cendres a été réalisé sur chacune d'entre elles. Le choix des sites a été effectué de manière à récolter des cendres obtenues à partir de 5 combustibles différents, le critère de puissance (puissance > 2 MW) n'a pas pu être respecté. Ces 5 installations feront l'objet d'un descriptif plus complet dans la troisième partie dédiée à l'analyse des filières de valorisation existantes.

On présente simplement ici un tableau récapitulatif qui met en évidence les particularités des différentes installations (combustible, puissance de la chaudière et mode d'extraction des cendres).

	Saint Jean	La Compôte	La Ferte Mace	CAT Le Bellaie	Sonormen
Département	73	73	61	14	14
Domaine	Collectif (communal)	Collectif (communal)	Collectif (réseau de chaleur)	Industriel (CAT)	Industriel (scierie)
Puissance	85 kW	80 kW	2,2 MW	1 MW	29 kW
Combustible	Plaquettes forestières (feuillus)	Plaquettes forestières (résineux)	Ecorces (3/4) Plaquettes	Palettes broyées	Sciure Copeaux Bois broyé
Extraction des cendres	Sèche	Sèche	Humide	Sèche	Sèche

2.2.2 Analyses réalisées

Afin de connaître les caractéristiques des cendres prélevées et étudier les filières de valorisation envisageables, des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur ces sous produits de combustion.

Ces analyses ont été réalisées par deux laboratoires :

- SADEF Laboratoire (68700 ASPACH LE BAS), pour les analyses se rapportant à la valorisation agronomique,
- SIGMA béton (38081 L'ISLE D'ABEAU), pour les caractérisations concernant d'éventuelles applications industrielles.

a) **Essais réalisés par SIGMA Béton**

- **Les compositions chimiques** par éléments simples ont été déterminées par fluorescence X, les résultats sont alors exprimés en pourcentages massiques d'oxydes.
- **Les examens minéralogiques** qualitatifs ont été effectués par diffractométrie des rayons X, le tube utilisé pour ces analyses est un tube à anticathode de cuivre. Cette analyse permet d'identifier les phases cristallisées.
- **Les teneurs en imbrûlés** ont été mesurées par perte au feu à 550°C (NF EN 196.2) et à 975°C.
- Compte tenu des teneurs élevées attendues en calcium, **les teneurs en chaux libre** (CaO, Ca(OH)₂) ont été mesurées (EN 451.1).
- **La distribution granulométrique** des échantillons a été déterminée par granulométrie laser (sur les éléments fins).
- **L'indice d'activité** de ces sous-produits a été évalué en étudiant la résistance du mortier lorsqu'une partie du ciment est substituée par des cendres.

b) **Essais réalisés par SADEF Laboratoire**

- La valeur agronomique des cendres est analysée à partir des paramètres suivants :
 - ⇒ MS et MO,
 - ⇒ PH, N total, N-NH₄, C/N,
 - ⇒ P₂O₅, K₂O, CaO, MgO.
- Cette valeur agronomique a été affinée par la mesure des concentrations en éléments traces métalliques.
- Afin de déterminer le comportement à la lixiviation de ces cendres, la fraction soluble et les teneurs en métaux lixiviés ont également été mesurées.

2.2.3 Résultats

❑ Compositions chimiques et minéralogiques

Les compositions chimiques élémentaires (exprimées en oxyde) ont été déterminées par fluorescence X et sont présentées dans le tableau suivant (exprimées en %) :

SITE	St JEAN	La Compote	La Ferte Mace	CAT Le Bellaie	Sonormen
COMBUSTIBLE	Plaquettes feuillus	Plaquettes résineux	Ecorces + plaquettes	Palettes broyées	Sciure
SiO ₂	14,54	12,35	36,01	36,59	8,18
Al ₂ O ₃	2,17	1,47	3,9	7,14	1,5
Fe ₂ O ₃	0,7	0,71	1,83	9,25	2,13
CaO	53,96	52,5	31,3	15,17	43,83
MgO	3,61	2	0,99	3,32	5,8
SO ₃	0,44	0,77	0,38	0,41	0,63
K ₂ O	8,21	4,48	2,26	5,31	9,11
Na ₂ O	0,33	0,14	0,41	1,82	0,56
SrO	0,08	0,15	0,06	0,07	0,2
TiO ₂	0,07	0,08	0,31	0,71	2,68
P ₂ O ₅	4,54	1,47	0,65	0,9	0,65
Mn ₂ O ₃	0,15	0,22	0,67	0,93	0,46
Cl	0,0025	0,084	0,049	0,19	0,53
Total	88,8025	76,424	78,819	81,81	76,26
PF 975 °C	11,1	22,8	20,85	17,4	21,15
TOTAL	99,9025	99,224	99,669	99,21	97,41
Chaux libre	25,3	17,65	6,7	0,85	7,4
PF 550 °C	0,85	3,5	5,1	14,05	2,8

Sont également portées dans ce tableau, les teneurs en imbrûlés (perte au feu à 550 et 975°C) et en chaux libre.

A ces teneurs, il faut ajouter les concentrations en métaux lourds (exprimées en mg/kg) :

	Saint Jean	La Compote	La Ferté Macé	CAT	Sonormen
Bore	213	284	139	271	601
Cuivre	141	160	31,9	281	2 067
Fer	4 455	8 470	9 201	54 336	5 030
Manganèse	1213	2 950	5 845	7 153	4 236
Molybdène	3,33	3,86	< 0,5	13,9	2,75
Zinc	91,8	709	92,2	734	223
Cobalt	2,23	7,07	7,2	16,4	12,3
Cadmium	0,096	3,69	2,13	4	0,77
Chrome	15,8	42,4	14,4	263	3 100
Mercure	< 0,005	0,005	0,009	0,025	0,007
Nickel	19	43,4	12	73,1	8,67
Plomb	< 1,8	20,2	18,4	171	201

Les analyses par diffraction X ont permis de déterminer sous quelles formes minéralogiques se répartissent les éléments majeurs dosés en fluorescence X.

L'analyse par diffraction X n'est pas une mesure quantitative néanmoins l'intensité des pics de diffraction permet de classer les phases cristallisées présentes en deux catégories : les phases majeures et les phases mineures.

Les cinq spectres de diffraction sont présentés en annexe X et les différentes phases cristallisées repérées dans les cinq cendres sont répertoriées dans le tableau suivant.

	Saint Jean	La Compote	La Ferté Macé	CAT Le Bellaie	Sonormen
Phases majeures	CaO CaCO ₃ K ₂ Si ₄ O ₉	CaCO ₃ CaO K ₂ Si ₄ O ₉ MgO	Ca(OH) ₂ CaCO ₃ SiO ₂	SiO ₂ CaCO ₃ KAlSiO ₄ K ₄ Al ₂ Si ₂ O ₉	MgO CaCO ₃ TiO CaO K ₂ Si ₄ O ₉
Phases mineures	MgO Ca(OH) ₂ (SiO ₂)	Ca(OH) ₂ SiO ₂	CaO MgO	CaO Fe ₂ O ₃ Fe ₃ O ₄ MgO	Fe ₃ O ₄ (Na,Ca)Al Si ₃ O ₈ Ca(OH) ₂ SiO ₂

• **Remarques :**

- ⇒ Il est à noter que ces cendres sont certainement constituées d'une phase vitreuse non qualifiable par DRX,
- ⇒ Le laboratoire en charge des analyses a insisté sur les difficultés d'interprétation des spectres. Ces problèmes d'interprétation sont généralement rencontrés pour les solides issus d'un process thermique (phases déshydroxylées ou mal cristallisées du fait de la combustion).

Suite à ces analyses chimiques, il est possible de tirer quelques conclusions :

- Comme attendu (compte tenu de la composition de la biomasse), les cendres ne contiennent pas (ou très peu) de soufre et de chlore,
- Les cendres sont principalement composées de chaux et de silice, et dans une moindre mesure de K₂O, MgO, Al₂O₃ (Fe₂O₃, P₂O₅ suivant les échantillons),
- On note des compositions chimiques et minéralogiques très proches pour les deux cendres de plaquettes forestières, avec des teneurs en chaux libre importantes (les cendres de La Compote présentent une perte au feu plus importante qui peut être attribuée à une moins bonne combustion),

- Les phases minéralogiques sont assez similaires pour les différents cendres, on peut simplement faire quelques remarques :
 - ⇒ L'extraction humide des cendres induit une présence importante de Portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hydratation de la chaux vive CaO). Du fait de ce lavage, les concentrations en phases solubles sont moins importantes et les phases minéralogiques sont mieux identifiables,
 - ⇒ On note des compositions minéralogiques plus complexes pour les cendres issues de la combustion de déchets bois.
- Compte tenu de l'origine des combustibles, les cendres du CAT et de la scierie contiennent des métaux en concentrations importantes.

□ Comportement à la lixiviation

Les essais de lixiviation ont été réalisés sur une période de 24 heures avec un ratio liquide sur solide de 10 (selon la norme X31-210).

Le tableau suivant présente les concentrations en métaux dans les lixiviats ainsi que la fraction soluble (quantité de matière lixiviée).

	Saint Jean	La Compôte	La Ferte Mace	CAT Le Bellaie	Sonormen
Cd ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	< 1,9	< 1,9	< 1,9	< 1,9	< 1,9
Cr ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	1 405	1 005	16	63 929	1 477 319
Cu ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	< 129	< 129	147	285	202
Hg ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ni ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	< 6	< 6	28	15	< 6
Pb ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	< 9	22	16	117	465
Zn ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	21	736	22	2 162	139
F.S. (%)	7,9	5,1	1,8	13,2	2,2

- Les cendres issues de la combustion de plaquettes (feuillus et résineux) présentent, là encore, des similitudes ; les cendres de résineux conduisent à une concentration en zinc un peu plus élevée (mais qui reste faible, < 1 ppm).
- Les cendres de la Ferté Macé présentent le comportement le moins sensible à la lixiviation : très faibles concentrations en métaux. Ce résultat ainsi que la faible fraction soluble s'expliquent par le mode d'extraction des cendres (humide) qui se traduit par un lavage des cendres au niveau du process.

- La combustion de palettes broyées conduit à des cendres à forte fraction soluble et contenant des métaux solubles (Cr, Zn et probablement Fe).
- La lixiviation des cendres de scierie conduit à un relargage très important en chrome mais à une fraction soluble faible.

Le tableau suivant présente les rendements de lixiviation (masse lixiviée / masse initiale) :

	Saint Jean	La Compôte	La Ferte Mace	CAT Le Bellaie	Sonormen
η Cu (%)	< 0,1	< 0,08	0,46	0,1	/
η Zn (%)	0,02	0,1	0,02	0,3	0,06
η Pb (%)	/	0,1	0,09	0,07	0,2
η Cr (%)	8,9	2,4	0,1	24,3	47,7
η Ni (%)	/	/	0,2	0,02	/

On remarque que l'élément le plus soluble dans les cendres est donc le chrome avec un rendement de lixiviation de près de 50 % pour les cendres de scierie.

□ **Indice d'activité**

L'indice d'activité consiste à comparer la résistance d'un mortier témoin à un mortier substitué aux cendres à hauteur de 25 %, les résistances du mélange mortier-cendres ainsi que les indices d'activité sont présentées dans le tableau suivant :

	Saint Jean	La Compote	La Ferté Macé	CAT Le Bellaie	Sonormen
Résistance à 28 jours	18,7 MPa	Non mesurable	29,1 MPa	30,2 MPa	14,1 MPa
Résistance à 90 jours	22,8 MPa	Non mesurable	30,8 MPa	33,1 MPa	18,1 MPa
Indice activité à 28 jours	31,6 %	/	49,2 %	51 %	23,8 %
Indice activité à 90 jours	36,2 %	/	49 %	52,6 %	28,8 %

Les résistances à la compression du mortier témoin sont les suivantes :

⇒ à 28 jours : 59,2 MPa,

⇒ à 90 jours : 62,9 MPa.

Concernant les cendres de La Compote, les mesures n'ont pas pu être réalisées, en effet les éprouvettes ont explosé ; éclatement dû à la formation d'un gel gonflant.

D'une façon générale, les indices d'activité sont assez faibles. Comparativement, les cendres de charbon, utilisées en substitution dans les ciments, présentent un indice d'activité de plus de 75 %. Conformément à la norme NF EN 450 (cendres volantes pour béton : définitions, exigences et qualité), l'indice d'activité à 28 jours et 90 jours doit être supérieur à 75 % et 85 % respectivement.

Les cendres de plaquettes présentent de mauvais indices d'activité (nul pour la cendre de La Compote), ces résultats peuvent être attribués aux teneurs en chaux libre importantes.

□ Valeur agronomique

SITE	St JEAN	La Compote	La Ferte Mace	CAT Le Bellaie	Sonormen
COMBUSTIBLE	Plaquettes feuillus	Plaquettes résineux	Ecorces + plaquettes	Palettes broyées	Sciure
pH	13,5	13,2	12,7	12,7	13,5
MS (%)	99,9	99,6	98,3	99,1	99,7
inertes %	0	0	0	28	0
MO (PF) %	< 0,1	5,18	5,47	16,5	1,71
C organique %	1,53	4,13	5,92	9,94	2,13
N total %	0,1	0,11	0,03	0,33	0,09
C/N	15	36	193	29	22
N-NH4 %	< 0,005	0,006	< 0,005	< 0,005	< 0,005
P2O5 %	4,91	2,72	0,606	0,99	0,623
K2O %	8,71	6,84	1,45	4,59	9,21
CaO %	55	45,6	31,7	12,9	43,2
MgO %	3,49	3,07	0,793	2,74	5,75

Comme il était attendu, les cendres de biomasse sont des produits très basiques, les pH sont compris entre 12,7 et 13,5.

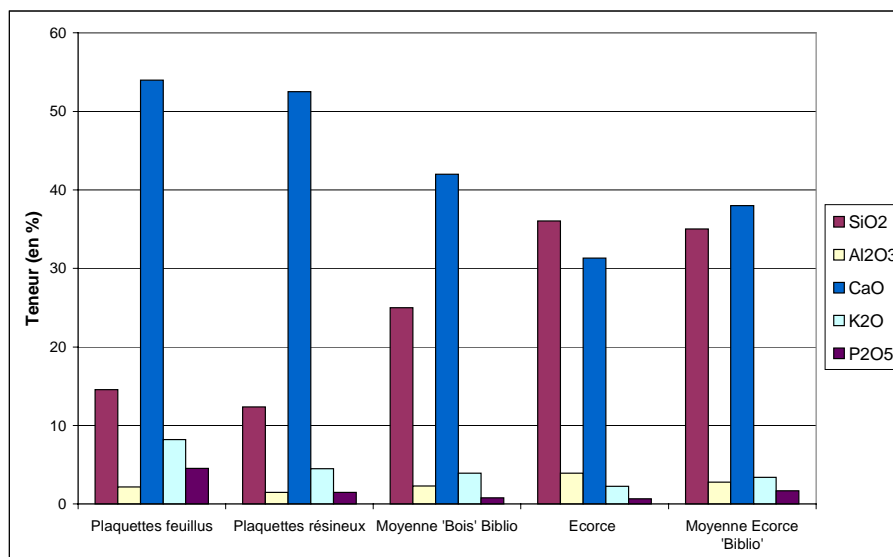
Il est à noter que tous les cendres sont caractérisées par des teneurs en matières sèches importantes. Ces teneurs ne reflètent pas l'humidité des cendres en sortie de chaudière, le conditionnement employé n'ayant pas permis d'éviter la déshydratation, ceci est particulièrement vrai pour les cendres de la Ferté Macé (extraction humide) où les cendres sont à l'état de 'gâteau' à la sortie de l'extracteur (humidité estimée à 40 %).

Les teneurs en azote sont faibles (du fait de la combustion).

La teneur en inertes est importante dans le cas des cendres de palettes du fait de la présence importante d'éléments métalliques (clous, agrafes des palettes).

2.3 - COMPARAISON ANALYSES/BIBLIOGRAPHIE

Les analyses réalisées sur les cendres prélevées sont cohérentes avec les analyses de la bibliographie disponibles concernant principalement les cendres de bois et d'écorces (cf. graphique ci-après).



Les cendres sont principalement composées de silice, chaux et dans une moindre proportion de phosphates, d'alumine, magnésie et de sels alcalins. Elles sont caractérisées par un pH basique et une teneur en azote faible.

On a pu confirmer l'influence du mode d'extraction des cendres, l'extraction humide conduit à un lavage des cendres et à une modification minéralogique.

L'essence du bois semble avoir une influence moins importante que prévu, en effet les compositions chimiques des cendres de plaquettes (issues de feuillus et de résineux) sont assez similaires. La différence dans les teneurs en imbrûlés provient plutôt de la qualité de la combustion.

La variabilité des cendres, en terme de compositions chimique et de valeur agronomique, est effectivement forte mais pour des combustibles d'origine différente (biomasse, déchets de scierie, déchets bois).

3 - REGLEMENTATION EXISTANTE ET PERSPECTIVE D'EVOLUTION

Les cendres de chaufferies bois sont des résidus de combustion et d'incinération. Ce sont aussi des produits susceptibles d'être utilisés en tant que matières fertilisantes, ou éventuellement en tant que matériaux entrant dans des procédés de fabrication industrielle ou tant que matériaux de construction pour le bâtiment et les travaux publics.


Il est donc nécessaire de faire le point sur la réglementation actuelle concernant :

- les installations de combustion et leurs résidus de combustion,
- les installations d'incinération et leurs résidus d'incinération,
- les matières fertilisantes,
- les matériaux de (BTP ou autres) comportant des déchets dans leur process de fabrication.

Il faut rappeler que d'important programme de recherche est en cours, avec comme objectif une refonte totale sur la réglementation des résidus des procédés thermiques (RTP).

3.1 - RECAPITULATIF DES INSTALLATIONS DE COMBUSTION ET D'INCINERATION

Voir tableau en page ci-contre.

 La grande majorité des chaufferies bois correspond à des installations ne relevant pas des ICPE. (75 % des installations recensées).

Seulement 25 % des installations recensées correspondent à la rubrique 2910 A, sous le régime de la simple déclaration.

PTM : La puissance thermique maximale est la quantité maximale de combustible, exprimée en pouvoir calorifique inférieur, susceptible d'être consommée par seconde.

INSTALLATIONS DE COMBUSTION

INSTALLATIONS D'INCINERATION

Puissance thermique maximale ⁽¹⁾	Biomasse non souillée ⁽²⁾ gaz naturel, GPL fiouls charbon	Puissance thermique maximale	Autre combustible	Déchets bois (type DMA)	Déchets bois (type DIS)
- < 2 MW	non ICPE	- > 0,1 MW	ICPE 2910 B ↓ Autorisation	ICPE 322 B4 ↓ Autorisation	ICPE 167 C ↓ Autorisation
2 MW < - < 20 MW	ICPE 2910 A ⇒ Déclaration				
20 MW ≤ -	ICPE 2910 B ⇒ Autorisation				

(1) La biomasse (selon la Note en service DPPR du 10 avril 2001), correspond aux produits composés de la totalité ou d'une partie d'une matière végétale agricole ou forestière et des déchets ci-après :

- ⇒ déchets végétaux agricoles et forestiers,
- ⇒ déchets végétaux provenant du secteur de la transformation alimentaire,
- ⇒ déchets végétaux issus de la pâte vierge et de la production du papier à partir de pâte,
- ⇒ déchets de liège,
- ⇒ déchets de bois à l'exception des déchets de bois qui sont susceptibles de contenir des composés organiques halogénés ou des métaux toxiques à la suite d'un traitement avec des conservateurs du bois ou du placement d'un revêtement, y compris en particulier des déchets de bois de ce type provenant de déchets de construction ou de démolition.

(2) Déchets bois

Autres produits que ceux visés en 2910A.

3.2 - LES INSTALLATIONS NON ICPE ET LEURS RESIDUS

Comme le montre le tableau précédent, les installations de combustion utilisant de la biomasse non souillée comme combustible et ayant une faible puissance, inférieure à 2 MW **ne sont pas des ICPE** (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement).

Elle relèvent donc du **Règlement Sanitaire Départemental (RSD)**. Celui-ci décrit pour les installations de chauffage, de cuisine ou de production d'eau chaude par combustion, les dispositions générales concernant l'évacuation des gaz, la ventilation des locaux... Rien n'est précisé concernant les résidus de combustion.

Un article est consacré aux matières fertilisantes, supports de cultures et produits antiparasitaires. Il stipule que « ces produits sont épandus conformément à la réglementation en vigueur et en respectant les indications et les précautions d'emploi portées sur l'emballage ou la notice ».

Le RSD renvoie en particulier à la loi du 13 juillet 1979 relative aux produits fertilisants et supports de culture. Celle-ci précise (article 2) qu'il est interdit de vendre ou distribuer gratuitement des matières fertilisantes ou supports de culture qui n'auraient pas fait l'objet d'une homologation ou d'une autorisation temporaire de vente.

Mais, sous réserve **d'innocuité des produits** à l'égard de l'homme, des animaux et de leur environnement, peuvent être dispensés de l'homologation :

- les produits normalisés,
- les produits mis sur le marché dans des conditions autres que l'homologation,
- les rejets, dépôts, déchets réglementés par la loi sur les ICPE,
- les produits organiques bruts ou d'origine naturelle (ne provenant pas d'ICPE), provenant d'une exploitation agricole ou d'élevage, et cédés directement à titre gratuit ou onéreux par l'exploitant.

La note de service DPPR du 10 avril 2001 relative à la combustion du bois et des déchets bois précisent que pour les foyers ou cheminées industrielles, qui échappent à la nomenclature des ICPE, des dispositions pourront être prévues dans le cadre des plans de protection de l'atmosphère (PPA) prévus par le Code de l'Environnement. Les instructions transmises aux Préfets dans ce cadre devraient concerner les installations de combustion non classées ICPE.

Conclusion

A priori, les cendres de chaufferie bois produites dans des installations non classées (puissance < 2MW) ne correspondent actuellement à aucun produit dispensé de l'homologation.

Dans ces conditions, leur épandage pur et simple ne pourrait a priori pas être envisagé.

3.3 - LES INSTALLATIONS DE COMBUSTION 2910 A - REGIME DECLARATION

Elles correspondent aux chaufferies bois brûlant de la biomasse non souillée et ayant une puissance maximale comprise entre 2 et 20 MW.

L'arrêté du 25 juillet 1997 (modifié par l'arrêté du 10 août 1998) décrit les prescriptions générales applicables aux installations dépendant de la rubrique 2910 A (Régime déclaration).

Nous en citons ci-dessous quelques extraits concernant les résidus de traitement.

□ Annexe I – 5 : Eau

- **5.8 Epandage** : « *L'épandage des eaux résiduaires, des boues et des déchets est interdit* ».

□ Annexe I – 7 : Déchets

- **7.1 Récupération recyclage** : « *Toutes les dispositions doivent être prises pour limiter les quantités de déchets produits, notamment en effectuant toutes les opérations de valorisation possibles. Les diverses catégories de déchets doivent être collectées séparément puis valorisées ou éliminées dans des installations appropriées* ».
- **7.2 Stockage des déchets** : « *Les déchets produits par l'installation doivent être stockés dans des conditions limitant les risques de pollution (prévention des envols, des infiltrations dans le sol, des odeurs). Toutes les dispositions sont prises pour assurer l'évacuation régulière des déchets produits, notamment les cendres et les suies issues des installations de combustion. La quantité de déchets stockés sur le site ne doit pas dépasser la capacité mensuelle produite ou un lot normal d'expédition vers l'installation d'élimination* ».

Conclusion

Il faut donc signaler qu'il y a une certaine ambiguïté entre :

- le fait que les déchets, donc a priori les cendres, doivent être valorisés ou à défaut éliminés dans des installations appropriées,
- le fait que l'épandage est interdit pour les déchets, les eaux résiduaires et les boues.

Il faut remarquer que l'épandage est cité dans la rubrique « eau » et non la rubrique « déchets ». On peut s'interroger sur le fait que cela peut signifier qu'il s'agit de déchets liquides et non de déchets solides.

En outre, le stockage est assez contraignant, puisqu'il doit être limité à un mois de production ou à une quantité correspondante à un lot normal d'expédition vers une installation d'élimination. Un lot normal peut correspondre à une benne à transporter ensuite sur camion.

3.4 - LES INSTALLATIONS DE COMBUSTION 2910 A - REGIME AUTORISATION

Elles correspondent aux installations de combustion ayant une puissance maximale supérieure ou égale à 20 MW.

Aucune chaufferie bois recensée n'atteint 20 MW. Ces installations puissantes sont plutôt des installations de co-combustion (biomasse + autre combustible fossile).

En attendant la parution de l'arrêté relatif aux grandes installations de combustion, leurs résidus de combustion sont soumis à l'**Arrêté du 2 Février 1998** modifié par les Arrêtés du 17 Août 1998, 14 Février 2000, 15 Février 2000, 3 Mai 2000 et 29 Mai 2000. Celui-ci concerne les rejets et émissions des installations classées soumises à autorisation.

Nous citons ci-après quelques extraits concernant l'épandage et les déchets.

□ Section IV : Epandage

- **Article 36** : « On entend par épandage, toute application de déchets ou effluents sur ou dans les sols agricoles » ; l'épandage des effluents ou des déchets est conditionné par l'innocuité des produits épandus, par l'efficacité agronomique des produits épandus et par l'efficacité épuratoire du sol et du couvert végétal. »
- **Article 37** : Il prévoit les **conditions d'épandage** à respecter en terme de périodes d'épandage, distances d'épandage et quantités épandues afin que les nuisances vis à vis de l'homme, les animaux et des cultures soient réduites au maximum.
- **Article 38** : Il précise que « tout épandage est subordonné à une **étude préalable comprise dans l'étude d'impact** montrant l'innocuité et l'intérêt agronomique, l'aptitude du sol à les recevoir, le périmètre d'épandage et les modalités de sa réalisation.
- **Article 39** : Les déchets ou effluents à épandre doivent respecter des caractéristiques physico-chimiques précises :
 - ⇒ le pH doit être compris entre 6,5 et 8,5 (sauf dérogation selon résultats favorables de l'étude préalable),
 - ⇒ les teneurs en éléments-traces métalliques et en éléments composés indésirables (PCB, Fluoranthène, Benzofluoranthène, Benzopyrène) ne doivent pas dépasser des valeurs limites,
 - ⇒ le flux cumulé sur 10 ans des éléments apportés ne doit pas dépasser des valeurs limites.

Les caractéristiques du **sol** sont aussi prises en compte (pH, ...).

Des **doses maximales** à apporter sont fixées concernant l'azote et la matière sèche.

- **Article 40** : Il concerne les modalités **d'entreposage et de dépôt temporaire**.
- **Article 41** : Il définit le contenu du **programme prévisionnel** d'épandage et du **plan d'épandage** (liste des parcelles, quantités et qualités des effluents, bilan,...).
- **Article 42** : Les conditions d'épandage sont stipulées dans un contrat liant le producteur de déchets et les agriculteurs.

□ **Section VI : Déchets**

- **Article 44** : L'exploitant doit prendre toutes les dispositions nécessaires pour s'assurer une bonne gestion de déchets produits, par exemple pour limiter les déchets, **valoriser les sous-produits de fabrication**, s'assurer pour les déchets ultimes d'un stockage dans les meilleures conditions possibles.
- **Article 45** : Les déchets et résidus produits doivent être stockés temporairement dans des conditions évitant tout risque de pollution.
- **Article 46** : L'exploitant devra justifier, à compter du 1er Juillet 2002, du **caractère ultime** des déchets mis en décharge. Les déchets qui ne peuvent pas être valorisés sont éliminés dans des installations réglementées.

Conclusion

Les déchets de ces installations de combustion doivent être valorisés au maximum afin de limiter l'enfouissement.

L'épandage des cendres est donc possible sur des parcelles agricoles, si celles-ci présentent un intérêt agronomique et si elles ne sont à l'origine d'aucune nuisance vis à vis de l'homme, des animaux et des cultures.

Ces conditions d'épandage sont établies dans l'étude d'impact de l'installation. Les produits épandus, les quantités épandues et les sols doivent respecter certaines valeurs limites précisées en annexe de l'Arrêté.

3.5 - LES INSTALLATIONS DE COMBUSTION 2910 B – REGIME AUTORISATION

Ces installations correspondent aux chaufferies bois utilisant comme combustible des « produits consommés seuls ou en mélange différents de ceux visés par la rubrique 2910 A, et ayant une puissance thermique maximale supérieure à 0,1 MW ».

La note de service DPPR du 10 avril 2001 complétée par une lettre du Directeur de la DPPR du 6 juillet 2001 précise que les installations de combustion incinérant des déchets de bois provenant des panneaux de particules qui ne contiennent ni composés halogènes, ni métaux toxiques peuvent être classés sous la rubrique 2910 B (régime autorisation) sous réserve que l'exploitant puisse démontrer par des analyses :

- l'absence de traces de métaux et d'halogènes,
- la stabilité de la composition chimique du produit.

Les résidus de combustion provenant d'ICPE au régime autorisation sont soumis à la même réglementation que ceux de la nomenclature 2910 A (§2-4).

3.6 - LES INSTALLATIONS D'INCINERATION DE DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES - 322 B4

Les installations de combustion qui utilisent comme combustibles des matériaux entrant dans la catégorie des déchets ménagers et assimilés relèvent de la rubrique 322 B4 (régime Autorisation). Les déchets incinérés peuvent comporter des déchets bois tels que bois peints, vernis, lamellés – collés, agglomérés, adjuvantés, mais ne renfermant ni sels de métaux lourds, ni créosote.

Les installations et les sous-produits d'incinération sont soumis aux dispositions de **l'Arrêté du 25 Janvier 1991 et à la circulaire du 9 Mai 1994 sur les mâchefers**. Elles ne sont pas soumises à l'Arrêté du 2 Février 1998 présenté en 1.4.

Il est intéressant néanmoins d'examiner les conditions de valorisation des mâchefers qui pourraient servir de références pour les cendres de bois propres, valorisées dans les mêmes conditions que les mâchefers (en tant que matériaux routiers ou de remblais).

La circulaire du 9 Mai 1994 classe les mâchefers en trois catégories selon leur potentiel polluant.

Celui-ci correspond au taux d'imbrûlés, à la fraction soluble et au potentiel de lixiviation de certains métaux lourds, sulfates et Carbone Organique Total COT (cf. 2.6).

Les mâchefers « V » ayant une faible fraction lixiviable, peuvent être valorisés en technique routière (remblais, sous-couche de chaussées) en respectant certaines conditions de chantier.

Les mâchefers « M », dits intermédiaires, sous réserve d'un traitement et d'une période de maturation sur une installation réglementée, peuvent passer en catégorie V et être valorisés dans les mêmes conditions.

Les mâchefers « S » à forte fraction lixiviable, sont à éliminer en centre d'enfouissement technique (CET II).

3.7 - LES CONDITIONS D'UTILISATION DES MATIERES FERTILISANTES

3.7.1 Quelques définitions

La loi du 13 juillet 1979 relative à l'organisation du contrôle des matières fertilisantes et des supports de culture précise diverses définitions.

Les **supports de culture** sont des produits destinés à servir de milieu de culture à certains végétaux.

Les **matières fertilisantes** comprennent les engrais, les amendements et, d'une manière générale, tous les produits dont l'emploi est destiné à assurer ou améliorer la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols.

Les **engrais** sont des matières fertilisantes dont la fonction principale est d'apporter aux plantes des éléments directement utiles à leur nutrition, c'est à dire (selon la norme NF U 42-001) :

- éléments fertilisants majeurs : N, P, K, à raison de :
 - ⇒ $N + P_2O_5 + K_2O > 7 \%$ de matière sèche,
 - ⇒ $P_2O_5 > 2 \%$ de matière sèche,
 - ⇒ $K_2O > 5 \%$ de matière sèche,
- éléments fertilisants secondaires : Ca, Mg, Na, S,
- oligo-éléments : B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn.

MINERALES	ORGANO-MINERALES	ORGANIQUES
-----------	------------------	------------

Engrais		Amendements	Engrais	Amendements	Engrais	Amendements
Eléments fertilisants : Ca, Mg, Na et S		✓ Ca et Mg	✓ Engrais organo-minéral	✓ Amendement organique avec engrais	✓ Azotés	✓ Organique
Oligo-éléments : B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn					✓ Azotes de synthèse	
Eléments fertilisants majeurs :		✓ Ca, Mg et S			✓ NP	
<i>simples</i>	<i>composés</i>	✓ Autres			✓ NK	✓ de synthèse
✓ N	✓ NP					
✓ P	✓ NK					
✓ K	✓ PK					
	✓ NPK		✓ NPK			

 Catégories dans lesquelles entrent les cendres de chaufferie bois

On caractérise aussi les éléments trace, à savoir : As, Cd, Cr, Hg, Pb, Se.

Selon leur origine, les engrais sont qualifiés de minéraux organiques ou organo-minéraux.

Les amendements sont des matières fertilisantes apportées **aux sols**, dont la fonction principale est d'améliorer leurs propriétés physiques et/ou chimiques et/ou leur activité biologique (NF U 42-041).

On distingue :

- les amendements calciques et/ou magnésiens, destinés à maintenir ou élever le pH du sol et à améliorer ses propriétés (NF U 44-203) ; ceux-ci sont d'origine minérale,
- les amendements calciques et/ou magnésiens-engrais, qui améliorent les propriétés du sol et le complètent en éléments nutritifs (NF U 44-203),
- les amendements organiques : composés principalement de combinaisons carbonées d'origine végétale, fermentées ou fermentescibles et contenant moins de 3 % d'azote.

Ces différents produits sont récapitulés dans le tableau ci-contre.

Au vu de leur composition moyenne et de leur origine, les cendres de chaufferies peuvent, a priori, être classées :

- en tant qu'engrais minéral,
- en tant qu'amendement minéral.

3.7.2 Utilisation et contrôle des matières fertilisantes

L'utilisation des matières fertilisantes et supports de culture est régie par trois textes :

- la loi du 13 Juillet 1979 relative au contrôle des matières fertilisantes et supports de culture,
- le décret du 16 Juin 1980 pris pour l'application de la loi du 13 Juillet 1979,
- le décret du 16 Juin 1980 portant règlement de la loi du 1^{er} Août 1905 sur la répression des fraudes en ce qui concerne les matières fertilisantes et les supports de culture.

La loi de 1979 et les décrets précisent les conditions auxquelles sont subordonnées les homologations, les autorisations provisoires de vente ou d'importation et la normalisation des produits.

Un produit peut être **homologué** quand « il 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 ».

Les autorisations provisoires sont accordées dans l'attente d'une homologation obtenue auprès du Ministère de l'Agriculture.

Cette procédure est lourde, longue (elle peut durer trois ans), et coûteuse car tous les tests sont à financer par le producteur.

Cette procédure est rare puisque seulement 5 % des matières fertilisantes et des supports de culture en font l'objet. La majorité des produits est mise sur la marché par d'autres moyens : produits normalisés, ou épandage prévu dans l'arrêté d'exploitation de l'installation.

Sous certaines réserves, les produits respectant les dispositions prévues dans les **Normes AFNOR** sont en effet exemptés d'homologation. De nombreux produits normalisés ont ainsi été mis sur le marché, en particulier les amendements organiques, les supports de culture et les engrais.

Autre possibilité, les produits qui sont des déchets d'installations classées (soumises à autorisation) peuvent être épandus moyennant les dispositions prévues dans l'Arrêté du 2 Février 1998³ (cf. 1.4).

Conclusion

Un produit ou un déchet considéré comme une matière fertilisante peut être épandu :

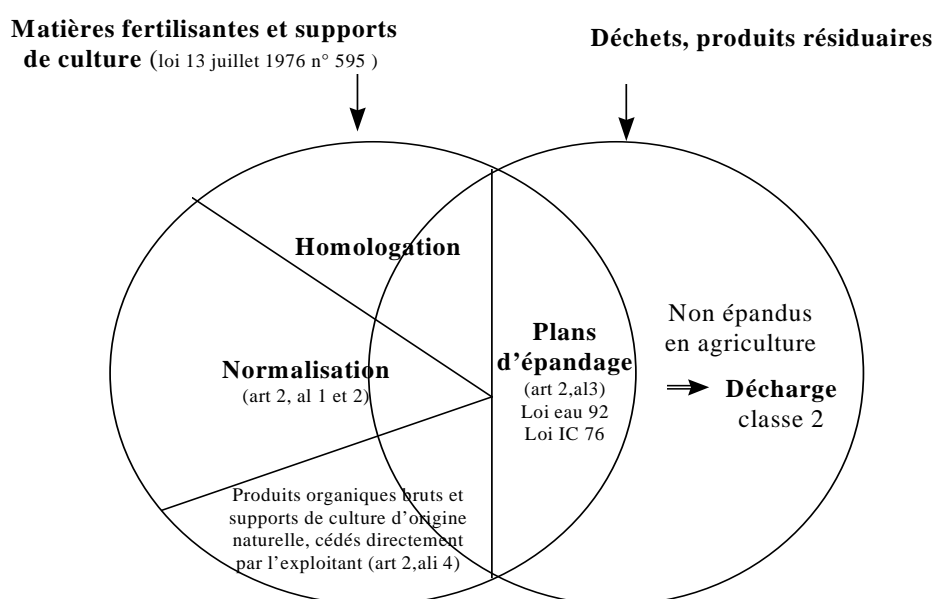
- 1) soit parce qu'il bénéficie d'une homologation (ou d'une autorisation provisoire de vente), en application de la loi du 13 juillet 1979 ; il peut être utilisé comme un autre produit du commerce (pas de plan d'épandage),
- 2) soit parce qu'il est conforme à une norme (ex : NF U 44-001 = amendement calcique), son utilisation se fait dans les mêmes conditions que celle d'un produit commercial de même nature,
- 3) soit parce que son épandage est réglementé à travers la législation des Installations Classées : étude d'impact, plan d'épandage, ... (cf. Arrêté du 2 Février 1998), pour les installations soumises à autorisation.

³ On ne fait plus référence à la Circulaire du 30 Avril 1996 relative à l'épandage en agriculture de déchets d'installations classées, car l'Arrêté du 2/02/1998 concernant les rejets ICPE est postérieur à cette circulaire, mais celui-ci ne s'applique qu'aux installations autorisées.

3.7.3 Le cas des cendres de chaufferies bois

La valorisation des cendres peut revêtir 3 principales formes selon l'optique de réalisation de cette valorisation agricole :

- le plan d'épandage,
- l'homologation
- le rattachement à une norme.



Ces différentes formes de valorisation agricole ne s'appliquent à priori que pour les cendres dont les teneurs en métaux sont inférieures à des seuils par référence à des seuils admis (Norme 44-041 par exemple) et dont les teneurs sont élevées en éléments fertilisants et en chaux.

❑ **Homologation**

La loi n°79-595 du 13 juillet 1979 relative à l'organisation du contrôle des matières fertilisantes et des supports de culture régit les demandes d'homologation. Tout dossier de demande d'homologation est consulté par le comité d'homologation. L'accord d'une homologation est effectuée par le ministre de l'agriculture après avis du comité d'homologation des matières fertilisantes.

La procédure à suivre en vue de l'homologation est lourde et comporte de très nombreuses phases :

- caractérisation du produit (constituants, caractéristiques physico-chimiques et biologiques, éléments fertilisants et traces, stabilité et variabilité du produit),
- vérification de l'innocuité du produit à l'égard de l'homme, des animaux et de l'environnement dans les conditions d'emploi prescrites ou normales,
- détermination des principaux effets du produit sur les cultures, les sols aux vues des caractéristiques du produit (mise en place d'essais culturaux),
- détermination du mode d'emploi du produit (cultures préconisées, stades de développement des plantes, mode et dose d'apport, fréquence des épandages).

Un produit homologué est utilisé dans les mêmes conditions qu'une matière fertilisante commerciale et il n'est pas nécessaire de prévoir de plan d'épandage ni de suivi agronomique. Le seul rôle de l'inspection des installations classées se borne à s'assurer de la constance de qualité du produit en demandant des analyses périodiques.

La procédure d'homologation ne peut être envisagée que pour des cendres produites en quantités importante et de qualité constante.

❑ **Normalisation**

En considérant que les cendres sont issues de produits végétaux, il serait possible de les rattacher à la norme NFU 42-001 (appellation « cendres végétales ») si les teneurs suivantes sont respectées :

- 2 % de P₂O₅,
- 5 % de K₂O.

Cette approche est réaliste si ces concentrations sont effectivement respectées. Dans le cas contraire, l'ajout de phosphore et de potassium aux cendres pour atteindre les valeurs définies conduit à une solution non viable économiquement.

Dans le cas où les cendres ne correspondraient pas de part leur composition chimique ou leur origine à un produit normalisé, **elles pourraient entrer dans la fabrication de ces produits** (engrais ou amendement) en tant qu'apport de chaux, K₂O et P₂O₅.

- **Engrais**

Selon la norme NF U 42 001, les cendres végétales entrent dans la catégorie des **engrais composés PK**, sous réserve :

- ⇒ d'être des cendres de divers végétaux contenant comme composants essentiels, parmi diverses matières minérales, du carbonate de calcium et des phosphates,
- ⇒ de contenir, sous forme globale déclarable, au moins 7 % du total (N + P₂O₅ + K₂O), avec au moins 2 % de P₂O₅ et 5 % de K₂O.

Les compositions de la majorité des cendres relevées de la littérature ou en provenance d'installations fonctionnant actuellement en France, ne renferment pas les teneurs minimales requises en P₂O₅ et K₂O.

En attente d'autres résultats, on peut conclure que les cendres végétales ne peuvent pas être systématiquement considérées comme des engrais composés PK.

- **Amendements**

La norme NFU 44-001 sur les amendements calciques et/ou magnésium est en voie de modification.

L'avant projet de nouvelle norme comporte une nouvelle dénomination : « amendements minéraux basiques ».

Sur les 12 types référencés, 11 sont d'origine naturelle (chaux, dolomie, craie, ...), 1 seul est d'origine industrielle (écume de sucrerie). Les teneurs minimales en (CaO + MgO) varient de 15 % à 70 % selon les produits.

Les cendres de végétaux, malgré leur teneur importante en CaO et MgO, ne correspondent pas à un type d'amendement basique normalisé, de part leur origine.

❑ Epandage

Le plan d'épandage consiste, après avoir étudié le produit en question puis le milieu récepteur, à élaborer un réseau d'agriculteurs preneurs pour constituer un débouché fixe et constant dans le temps.

Les périodes d'épandage sont fonction des cultures et des conditions climatiques :

- sur céréales : de juillet à septembre sur chaumes entre la moisson et le semis, de septembre à février en début de végétation,
- sur maïs : avant semis en mars-avril et après récolte en septembre,
- sur prairies : à l'automne et pendant l'hiver, le produit ne doit pas présenter de risques sanitaires pour les élevages, néanmoins, il peut être respecté un délai de 6 semaines entre l'épandage et la remise à l'herbe des animaux ou les coupes.

Ces périodes d'épandage sont théoriques et sont limitées par l'accessibilité des parcelles qui peut être très aléatoire entre novembre et mars (facteurs météorologiques et types de sol).

L'organisation de la filière de valorisation agricole se décompose en plusieurs étapes dont la maîtrise conditionne la pérennisation de la filière :

- la mise en place de pré-traitements qui permet d'enlever les corps étrangers (cailloux, pièces métalliques...),
- le stockage qui peut être réalisé à la chaufferie ou chez l'exploitant agricole (dans ce cas, le stockage a lieu après le transport),
- la reprise,
- le transport,
- l'épandage.

Les différentes composantes technico-économiques de la filière sont les suivantes :

- stockage,
- transport,
- épandage,
- gestion du dispositif et suivi agronomique.

La gestion de la filière comprend comme principales interventions : la définition du planning de livraison, la gestion des stockages et la définition du planning d'épandage.

Le suivi agronomique permet dans un premier temps de valider le cadre technique de recyclage agricole au travers de programmes d'analyses (cendres et sols), d'expérimentations et d'observations de la végétation. La réalisation de ce suivi permet également de communiquer aux agriculteurs les conseils techniques nécessaires à la prise en compte des apports de cendres dans les plans de fumure et d'amendement. Enfin, ce suivi permet de réaliser un compte rendu global de l'opération qui sera transmis aux administrations concernées.

Une étude réalisée par Agro Développement SA sur les cendres de la chaufferie d'AUTUN estimait le coût de la filière à 140 F/t, ce coût n'incluant pas la participation des agriculteurs et le stockage sur l'unité de production.

Les cendres de chaufferies bois relevant de la rubrique 2910 A, régime autorisation, sont donc soumises aux règles d'épandage.

Sous réserve de respecter les teneurs limites en métaux lourds et éléments indésirables, elles peuvent être épandues suivant un plan et des dispositions présentés dans l'étude d'impact de demande d'autorisation d'exploiter de l'installation.

Les dispositions d'épandage de l'Arrêté du 2 Février 1998 ne concernent que les Installations soumises à autorisation pour lesquelles il y a réalisation d'une étude d'impact.

Pour celles soumises à simple déclaration, l'épandage ne fait pas l'objet de dispositions particulières, celui-ci n'est, a priori, pas prévu, voire pas autorisé dans l'Arrêté type.

La valorisation agricole est donc envisageable sous différentes formes . Les filières d'homologation et de normalisation, doivent s'accompagner d'une démarche commerciale pour assurer l'écoulement de la production, contrairement au plan d'épandage où les débouchés sont garantis.

Les cendres peuvent aussi entrer dans la fabrication d'engrais ou amendement en tant qu'apport de chaux, potassium et phosphore.

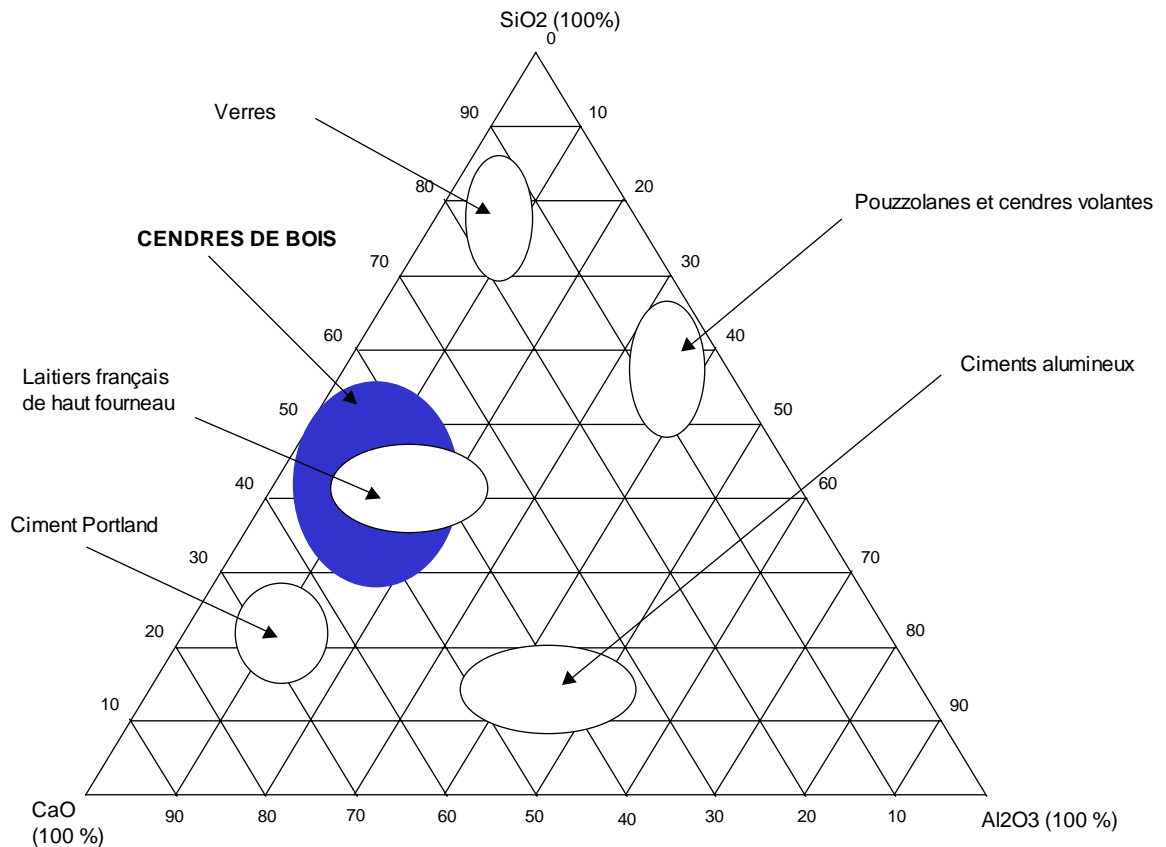
3.8 - LES CONDITIONS DE FABRICATION ET D'UTILISATION DE MATERIAUX ROUTIERS ET DE BATIMENT COMPORTANT DES MATERIAUX ISSUS DE DECHETS

Certains sous-produits ou déchets peuvent entrer dans la fabrication de matériaux routiers ou de bâtiment. C'est le cas par exemple :

- des laitiers de hauts fourneaux (résidus minéraux obtenus après fonte du minerai et extraction des métaux,
- des cendres volantes (résidus d'incinération de la houille dans les hauts fourneaux),
- des schistes houillers (résidus minéraux naturels après séparation du charbon),
- des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères.

La composition chimique des cendres n'est pas sans rappeler les compositions des matériaux utilisés dans le domaine des travaux publics (ciment, cendre de charbon, laitier...). En première approximation, les cendres se placent, dans le diagramme ternaire $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, dans un domaine voisin des laitiers de haut fourneau (du fait de la faible teneur en Al_2O_3) ce qui permettait d'envisager une certaine compatibilité voire affinité avec les liants hydrauliques classiques (ciment).

Le diagramme ternaire suivant présente de façon très schématique la position de différents matériaux. A noter que le domaine des cendres de bois est large du fait de l'étalement des compositions chimiques rencontrées.



Ces matériaux sont utilisés depuis plusieurs années, voire dizaines d'années en tant que :

- granulats de terrassement ou routiers (laitiers, schistes houillers, mâchefers, cendres volantes),
- ou additifs dans la fabrication des bétons et des ciments (laitiers et cendres).

Concernant les conditions de fabrication et d'utilisation, plusieurs cas peuvent se présenter :

- les matériaux sont normalisés (Norme NF ou Européenne),
- les matériaux doivent répondre à des prescriptions techniques et/ou environnementales,
- les matériaux sont très nouvellement utilisés et ne font pas l'objet de spécification particulières.

Les travaux de marchés publics sont approvisionnés avec des matériaux répondant aux 2 premières catégories qui conditionnent la couverture par une garantie décennale.

Pour les autres matériaux, le Maître d'Ouvrage engage sa responsabilité au cas où des détériorations surviendraient dans les ouvrages.

3.8.1 Matériaux normalisés

C'est le cas de sous-produits industriels comme les laitiers de hauts fourneaux et de cendres volantes utilisés en tant que granulats ou en tant qu'additifs dans les ciments et béton qui ont fait l'objet de normes. Par exemple :

- les laitiers cristallisés de hauts fourneaux utilisés en tant que granulats pour le bâtiment et le génie civil (NF P 18-302), les laitiers expansés (NF P 18-307), les laitiers vitrifiés moulus (NF P 18-506),
- les cendres volantes pour assises de chaussées (NF P 98-110), pour béton (NF EN 450), pour ciment (NF ENV 19-1).

Toutes ces normes fixent les caractéristiques physiques et chimiques auxquelles doivent satisfaire les matériaux. La composition homogène dans le temps de ces matériaux liés à des process industriels contrôlés et suivis a permis la normalisation d'un grand nombre de matériaux.

3.8.2 Matériaux devant satisfaire à des prescriptions techniques et/ou environnementales

C'est le cas de sous-produits industriels ou de résidus de traitement de déchets dont l'emploi en tant que matériaux est relativement récent et pour lesquels la composition est moins homogène dans le temps.

Pour les utilisations en Travaux Publics, ces matériaux doivent satisfaire à des normes et à des prescriptions techniques correspondant aux types de matériaux et aux types d'utilisation (Guide Technique pour les Remblais, couches de forme, structure des assises de chaussées pour les couches de fondation et de bases ; Note technique SETRA-LCPC sur l'utilisation des mâchefers).

Dans le cas des mâchefers, ceux-ci provenant de l'incinération de déchets ménagers et assimilés, des spécifications concernant leur caractérisation physico-chimique et leur caractère polluant sont exigées en plus.

Celles-ci sont précisées dans la circulaire du 9 Mai 1994.

	Catégorie V <i>Mâchefers à faible fraction lixiviable</i>	Catégorie M <i>Mâchefers intermédiaires</i>	Catégorie S <i>Mâchefers avec forte fraction lixiviable</i>
Taux d'imbrûlés	< 5 %	< 5 %	> 5 %
Fraction soluble	< 5 %	< 10 %	< 10 %
Potentiel polluant avec paramètres :			
- Hg	< 0,2 mg/kg	< 0,4 mg/kg	> 0,4 mg/kg
- Pb	< 10 mg/kg	< 50 mg/kg	> 50 mg/kg
- Cd	< 1 mg/kg	< 2 mg/kg	> 2 mg/kg
- As	< 2mg/kg	< 4 mg/kg	> 4 mg/kg
- Cr ⁶⁻	< 1,5 mg/kg	< 3 mg/kg	> 3 mg/kg
- SO ₄ ²⁻	< 10 000 mg/kg	< 15 000 mg/kg	> 15 000 mg/kg
-COT	< 1 500 mg/kg	< 2 000 mg/kg	> 2 000 mg/kg

Seuls les mâchefers V sont utilisables en techniques routières (remblais, sous-couches de chaussées), en respectant des conditions quant à la localisation des chantiers (éloignés des périmètres de protection de captage d'eau, de cours d'eau, au-dessus de la nappe, ...) afin d'éviter toute contamination par les eaux de ruissellement ou percolation.

Les mâchefers M, sous réserve d'un traitement et d'une maturation sur plate-forme leur permettant d'atteindre la catégorie V, sont utilisables dans les mêmes conditions.

Les mâchefers S doivent être enfouis en CET II.

3.8.3 Matériaux nouveaux

Quand il s'agit de matériaux nouveaux, pas encore normalisés, il n'existe pas de réglementation stricte. A savoir, on peut mettre sur le marché un matériau contenant une certaine quantité de produits issus de déchets, s'il s'avère qu'il n'y a pas une obligation incontournable d'éliminer ce déchet dans une installation réglementée (incinération, enfouissement ou autre).

Pour les matériaux concernant le bâtiment, le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, dépendant du Ministère du Logement et de l'Équipement) est amené à donner un « avis technique » sur les matériaux nouveaux à la demande de leur fabricant, mais cela ne concerne que les performances techniques du matériau et non les impacts éventuels sur l'environnement et la santé.

En outre, cela correspond à une démarche volontaire de la part des fabricants qui n'est aucunement contraignante.

On pourrait envisager la mise au point d'une procédure permettant de délivrer un avis « environnement – santé » comparable à l'avis technique, mais le CSTB est très réservé sur ce point.

Des recherches sont en cours dans ce sens. Dans une autre voie, le PUCA (Plan Urbanisme Construction et Architecture) finance les travaux retenus dans le cadre de l'appel à proposition 97 PCH – ADEME – DRAST – DHC sur le thème « recyclage de déchets industriels dans les produits de construction ».

Cette action avait pour but de promouvoir des procédures de contrôle qualité au sein des filières émergentes, motivées par des préoccupations légitimes en matière d'environnement, de santé et de sécurité vis-à-vis de tels matériaux.

Pour n'en citer que quelques projets, notons :

- CSTB (M. PIMENTA) : mise au point d'une méthodologie d'évaluation de la qualité environnementale pour les usages bâtiment des bétons contenant des déchets,
- INSAVALOR SA (M. MEHU) : élaboration de procédures d'essais pour la qualification environnementale pour les usages bâtiment des bétons contenant des déchets,
- QUILLE (M. FERTE) : recyclage des cendres volantes particulières dans les bétons de bâtiment,
- INSA de Rennes (M. LAQUERBE) : procédures d'essais en vue du recyclage de cendres volantes particulières dans les bétons de bâtiment.

3.9 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

3.9.1 Etat actuel

Le synoptique présenté lors de la synthèse réglementation résume la situation qui est assez complexe.

Les conditions de valorisation, en particulier par épandage ou par utilisation en tant que granulats, sont bien spécifiées quand il s'agit d'installations de combustion ou d'incinération de type ICPE, relevant du régime de l'autorisation. **Mais c'est très rarement le cas des chaufferies bois** ; en effet, seules les chaufferies utilisant comme combustibles des déchets bois (contenant ni métaux lourds ni composés halogénés) sont des ICPE soumises à autorisation de même que le seront les grandes installations de combustion (> 20MW) selon projet d'arrêté GIC.

Mais en pratique, les déchets de bois (type emballage bois) ne contenant ni métaux ni composés organiques halogénés sont assimilés à la biomasse et utilisés comme combustibles dans des installations simplement déclarées.

La grande majorité des chaufferies ayant des puissances faibles (< 2 MW), elles sont soumises au RSD (Règlement Sanitaire Départemental) qui ne prévoit rien de spécifique pour des résidus de combustion. Par contre, en tant que matières fertilisantes, ils pourraient être épandus sous réserve d'être homologués ou normalisés.

Les chaufferies ayant une puissance plus élevée (comprise entre 2 et 20 MW), étant des ICPE soumises à déclaration, leur Arrêté type est tout à fait ambigu concernant leur devenir. Il prévoit la valorisation des déchets, mais interdit tout épandage.

3.9.2 Perspectives

Les plans de protection de l'atmosphère (PPA) devraient prévoir des dispositions concernant les chaufferies bois de petite puissance qui ne relèvent pas des ICPE.

Concernant les possibilités de valorisation par épandage des cendres de chaufferies produites par des installations classées ICPE, sous régime de la déclaration, la question devrait être posée au Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement car vu la législation actuelle, l'épandage semble difficile car non prévu ou non encadré.

Concernant les autres formes de valorisation qui seront étudiées par la suite, en particulier les possibilités d'entrer dans l'élaboration de matériaux routiers ou de construction, seuls les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (322 B 4) bénéficient actuellement d'une circulaire présentant leurs conditions de valorisation et d'élimination, en complément de prescriptions techniques (Note technique SETRA – LCPC).

De fait, les spécifications des mâchefers (V, M et S) servent actuellement de références lorsqu'on étudie la possibilité de valoriser tel ou tel matériau en technique routière.

Il n'y a pas de spécification sur les matériaux (ciment, béton, parpaing, ...) fabriqués à partir de matières premières secondaires, c'est-à-dire issus de déchets.

Mais une nouvelle réglementation sur le devenir des résidus des process thermiques (RPT) est à l'étude. Elle ne devrait plus être basée seulement sur la caractérisation des produits par des seuils limites estimés par des essais de type lixiviation. En effet, on sait aujourd'hui que ceux-ci ne représentent pas les conditions auxquelles sont soumis les matériaux lorsqu'ils sont utilisés en sous-couches routières, par exemple.

D'autres essais (par exemple la percolation) qui seront validés par rapport à des scénarios, tenant compte des paramètres physico-chimiques du contexte dans lequel le matériau va être employé (pH, perméabilité, pluviométrie, ...) sont à l'étude.

Le comportement à long terme devrait être mieux appréhendé et, in fine, l'impact du matériau sur l'environnement et la santé humaine (compatibilité des relargages prévisibles des flux polluants avec la qualité des eaux de surface et souterraines, ...). Cela devrait aboutir à caractériser l'éco-compatibilité du couple « déchets / milieu » ou du couple « matériau contenant des déchets / milieu », c'est-à-dire à comparer le flux de polluants émis et le flux acceptable par le milieu récepteur.

La France travaille actuellement sur l'établissement d'une norme sur l'étude du comportement à long terme (X 30-407) qui a servi de base de travail au niveau européen et a permis d'aboutir à la Norme ENV 12 920.

4 - ANALYSE DES FILIERES DE VALORISATION EXISTANTES

Dans un premier temps, suite aux visites de sites, il est présenté un descriptif des installations visitées et les filières d'élimination/valorisation des cendres produites. Les cinq installations sont caractérisées par des modes de fonctionnement différents (puissance et marque de la chaudière, combustible, utilisation de l'énergie produite...).

4.1 - LES INSTALLATIONS VISITEES

4.1.1 Chaufferie de Saint Jean de Chevelu (73)

La chaufferie communale de Saint Jean de Chevelu assure le chauffage de l'école communale (4 classes), de la cantine et de deux appartements.

La chaudière d'une puissance de 85 kW est en service depuis Septembre 2000.

Cette chaudière, de marque Hargassner, est alimentée par des **plaquettes forestières de feuillus**, et consomme en moyenne 10 m³ toutes les trois semaines. Le gisement de combustible est local (sur la commune) et le broyage est effectué par un équipement mobile.

Un ventilateur d'aspiration permet le remplissage du silo. Le combustible est acheminé à la chaudière par deux vis sans fin, l'extraction des centres est automatique.

Ces cendres cédées aux agriculteurs sont mélangées à du lisier et épandues sur des champs situés sur la commune.

4.1.2 Chaufferie de La Compote (73)

La chaufferie communale de La Compote en Bauges alimente en chaleur cinq appartements, l'école, la mairie, et occasionnellement la salle des fêtes.

La chaudière HARGASSNER, d'une **puissance de 80 kW**, est en service depuis un an environ.

Elle est alimentée par des **plaquettes forestières de résineux**, et consomme 120 m³ par an. Le silo est alimenté grâce à un ventilateur d'aspiration, et son volume de 15 m³ utiles permet une autonomie de deux semaines en Janvier.

Le combustible (acheté à un sous traitant) est acheminé à la chaudière par deux vis sans fin. Les cendres volantes et les cendres sous chaudière sont collectées dans deux casiers distincts. Les deux types de cendres sont mélangés, cédés aux agriculteurs et épandus sur les champs voisins.

4.1.3 Chaufferie de La Ferté Mace (61)

La chaufferie collective de la Ferté Macé (en service depuis début 1999) alimente un réseau de chaleur (longueur de 1,2 km) qui est relié à 550 logements (HLM), à une salle de sport et une école.

La chaudière bois (Compte) d'une puissance de 2,2 MW est alimentée par un combustible composé principalement d'écorces (3/4 en masse) et de plaquettes. L'appoint est fourni par une chaudière fuel de 3 MW.

Le combustible est stocké dans un silo enterré (à plafond mobile). Les rateaux mobiles situés au fond du silo permettent le chargement d'un convoyeur à chaîne qui alimente la trémie. Un verrin poussoir permet le remplissage du foyer. Les fumées sont dépoussiérées dans un cyclone, les cendres volantes sont mélangées aux cendres sous foyer et sont extraites par voie humide (cf. photo suivante).

Les cendres humides sont collectées dans une benne couverte (située à l'extérieur).

Les cendres sont évacuées par Onyx et déposées dans un lieu indiqué par Dalkia – exploitant de la chaufferie (coût facturé par Onyx non communiqué correspondant au coût kilométrique). Les cendres sont soit stockées (lieu non défini) ou cédées à des exploitants agricoles (pas de précisions obtenues sur ce sujet).

4.1.4 Chaufferie du C.A.T. Le Bellaie (14)

Le CAT « Le Bellaie » situé à Mesnil Clinchamps (Calvados) emploie 110 personnes dont une majorité d'adultes handicapés. Les différentes activités de ce centre nécessitent plusieurs ateliers, des serres et un bâtiment administratif. Ces différents bâtiments (ainsi que l'ECS) sont chauffés grâce à une chaudière biomasse.

Cette chaudière d'une puissance de 1 MW est en service depuis décembre 1998. De marque Compte, la chaudière est alimentée par des broyats de palettes. Ces palettes sont récoltées lors des activités du CAT et le broyage est assuré par un sous-traitant.

Un stock de combustible permet le remplissage du silo couvert grâce à une chargeuse mobile. Les racleuses mobiles situées au fond du silo permettent le chargement d'un convoyeur à chaîne qui alimente la trémie. Un verrin poussoir permet le remplissage du foyer.

Les cendres sous foyer sont récupérées dans 4 casiers situés au bas de la chaudière

Les fumées sont dépoussiérées dans un cyclone et les cendres volantes sont collectées dans un casier situé en bout de chaudière.

Excepté le contenu du dernier casier à scories (composé principalement de clous de palettes), les cendres sont mélangées à des déchets de tonte (20 % de cendres) et sont épandues manuellement à l'automne dans un champ appartenant au CAT.

Il est important de noter que du fait du combustible utilisé (palettes broyées) et malgré le déferraillage amont, les cendres contiennent une part non négligeable d'éléments métalliques d'inertes (clous, agrafes).

4.1.5 Chaufferie de la scierie SONORMEN (14)

L'entreprise SONORMEN est une société de menuiserie - charpenterie.

La chaudière BANO (en service depuis deux ans) d'une puissance de 29 kW permet de chauffer les ateliers durant l'hiver.

Le silo aérien est alimenté grâce aux sciures et copeaux résultant de l'activité de la société, mais également de bois broyés sur place grâce à un broyeur.

La chaudière est alimentée grâce à deux vis sans fin, et produit entre 20 et 30 kg de cendres par semaine. Contrairement aux autres chaufferies, cette installation fonctionne toute l'année, et durant les périodes « chaudes », la chaleur est évacuée à l'atmosphère.

Les cendres sont mises en bennes avec les déchets non recyclables de la société et sont évacuées (incinération ou décharge).

4.2 - LES FILIERES EXISTANTES

4.2.1 Les différentes filières rencontrées

❑ Installations visitées

Sur la base des installations visitées, il apparaît que les filières ne sont pas clairement définies. Deux types de gestion des cendres ont été rencontrés :

- les cendres sont considérées comme des déchets et sont éliminées, c'est le cas des cendres de scierie qui contiennent des teneurs en métaux lourds élevées (principalement le chrome) et dont le seul exutoire est la mise en décharge (CET II),
- épandage agricole, les cendres sont cédées aux agriculteurs locaux qui se chargent du transport et de l'épandage (aucunes analyses spécifiques n'ont été réalisées pour valider cette filière). Les cendres peuvent être préalablement mélangées à d'autres produits (lisier, tontes de gazon) avant épandage.

Il faut en outre signaler que certaines cendres sont évacuées vers des destinations non précisées.

❑ Autres installations

Compte tenu, du manque de précisions des filières de valorisations des cendres des chaufferies visitées, des exploitants d'autres chaufferies (de puissance importante) ont été consultés :

- **Chaufferie de SEDAN**

La chaufferie de Sedan (deux chaudières de 3 et 4 MW) est exploitée par la société PERIN. Elle consomme de 12 000 à 15 000 t de bois par an et produit environ 500 tonnes de cendres. La totalité des cendres produites est mise en décharge de classe 2 pour un coût annuel de 300 kF par an.

- **Chaufferie de DOLE**

La chaufferie de Dôle (chaudière de 3,2 MW) est exploitée par SOCCRAM. Elle produit entre 300 et 400 tonnes de cendres sèches à partir de la combustion d'écorces principalement. Concernant la valorisation des cendres, un contrat a été passé avec des utilisateurs agricoles. Les cendres sont conditionnées en big bag et les exploitants agricoles locaux viennent s'approvisionner à la chaufferie (le stockage se fait sur les exploitations agricoles).

L'exploitant souligne la nécessité de fournir aux agriculteurs un produit exempt de cailloux et de pièces métalliques qui sont incompatibles avec le mode d'épandage (réalisé avec les semoirs). Cet épandage a lieu au même moment que les semis.

- **Chaufferie de CALAIS**

La chaufferie de Calais exploitée par Dalkia (chaudière de 4 MW) présente la particularité de ne pas mélanger les cendres sous foyer (scories) et les cendres volantes issues de la filtration des fumées.

Des essais ont été réalisés avec la société RMN (Recyclage des Matériaux du Nord) sur les cendres sous foyer pour les utiliser en sous couche routière. Les résultats de cette étude n'ont pas pu être obtenus, néanmoins la société souligne que cette filière de valorisation est envisageable sous réserve que les cendres présentent les caractéristiques des mâchefers V (selon la circulaire du 9 mai 1994), à savoir une fraction soluble et des teneurs en imbrûlés et métaux lourds inférieures à des seuils définis (cf. annexe 2 circulaire).

Les cendres volantes sont éliminées par incinération sur une unité de traitement de déchets industriels spéciaux (Société SOTRENOR), néanmoins des essais sont en cours avec un cimentier belge pour les incorporer dans la fabrication du ciment .

- **Chaufferie d'AUTUN**

La chaufferie d'Autun (Installation Classée de 8 MW) consomme 15 000 t d'écorces et produit environ 600 tonnes de cendres par an. Malgré l'étude de valorisation agricole réalisée par AGRO Développement SA, les cendres sont évacuées en décharge. Néanmoins, la piste de l'épandage en prairie est actuellement examinée grâce à la motivation des partenaires locaux.

4.2.2 La valorisation agricole

Même si elle n'est pas parfaitement maîtrisée (il n'existe pas actuellement de texte réglementaire ayant directement trait aux conditions d'épandage des cendres issues de la combustion de biomasse), la valorisation agricole représente la filière de valorisation la plus développée à ce jour. Cette filière présente l'avantage de fournir des débouchés locaux avec des interlocuteurs clairement définis mais nécessite une étude de faisabilité technico-économique.

Les cendres peuvent être assimilées à des matières fertilisantes moyennant quelques critères. Ces matières fertilisantes se divisent en 2 catégories : les engrais et les amendements. Un engrais est destiné à nourrir les plantes, alors qu'un amendement apporte des éléments au sol.

Au vu de leur composition moyenne, les cendres de biomasse peuvent à priori être classées dans les 2 catégories de matières fertilisantes. Elles peuvent être considérées comme **engrais si elles apportent des éléments P,K et Mg**. Elles peuvent aussi être considérées comme **amendement si elles participent à l'apport de chaux** pour lutter contre l'acidification du sol.

La valorisation agricole se détermine donc par l'étude analytique du produit à recycler et par l'étude du contexte agricole et environnemental.

□ Application aux cendres analysées

- ***Cendres de plaquettes forestières (Saint Jean et La Compote)***

Ces cendres sont caractérisées par des teneurs en chaux importantes (plus de 50 %) et par des teneurs en éléments fertilisants (teneurs en K₂O et P₂O₅ déterminées par la valeur agronomique) qui permettent de les classer dans la rubrique des **engrais** et de les rattacher à une norme.

De plus, les teneurs en métaux lourds sont inférieurs aux seuils définis par l'Arrêté du 8 janvier 1998 (sur les caractéristiques des composts) et aux seuils définis par la norme NFU 44-041.

Suivant les mesures agro-environnementales sur les quantités épandables (90 kg/ha pour P₂O₅ et 250 kg/ha pour K₂O) et d'après le décret de décembre 1997 (quantités épandables par rapport aux éléments traces), les quantités suivantes peuvent à priori être épandues :

⇒ quantités par apport triennal pour la cendre de St Jean : **1,8 t/hectare**,

⇒ quantités par apport triennal pour la cendre de La Compote : **3,3 t/hectare**.

- ***Cendres d'écorces (La Ferté Macé)***

Ces cendres ont subi un lavage au niveau du process d'extraction et sont obtenues par combustion d'écorces principalement. Les teneurs en chaux et en éléments fertilisants sont nettement plus faibles que pour les cendres de plaquettes forestières. Néanmoins, ces cendres sont caractérisées par des teneurs en polluants faibles. Aussi, ce type de cendres (du même type que les cendres produites à Dôle) peut être valorisé en agriculture (suivant un plan d'épandage par exemple).

Selon les doses d'engrais préconisées en N,P,K, les quantités épandables par apport triennal sont de **15,1 t par hectare**.

- ***Cendres de palettes broyées (CAT Le Bellaie)***

Les cendres de broyats de palettes sont composées d'une quantité importante d'inertes (28 %) composés principalement d'éléments métalliques. Aussi, afin d'envisager une valorisation agricole de ces cendres, il convient de réaliser une opération de criblage (ou un déferrailage). Moyennant, ce pré-traitement, ces cendres peuvent être valorisées en agriculture malgré les concentrations faibles en CaO et inférieures à la norme engrais pour les éléments fertilisants.

Selon les doses d'engrais préconisées en N,P,K, les quantités épandables par apport triennal sont de **6,8 t par hectare**.

- ***Cendres de la scierie Sonormen***

Ces cendres sont caractérisées par des teneurs importantes en métaux (principalement le chrome et le cuivre), leur épandage agricole n'est donc pas envisageable.

5 - PROPOSITIONS DE RECHERCHES DE NOUVELLES FILIERES

5.1 - VALORISATION AGRICOLE SPECIFIQUE

Il a été vu que les cendres peuvent être épandues sur des parcelles agricoles en tant que fertilisants ou amendement calcique.

Néanmoins, compte tenu :

- du faible gisement (par installation),
- des caractéristiques des cendres (propres au combustible),
- des difficultés de manutention,
- des besoins spécifiques des sols et des cultures.

Il peut être judicieux de rechercher des niches en terme de valorisation agricole correspondants à des épandages sur des cultures spécifiques.

Ainsi, par exemple, l'ADEME finance un essai d'utilisation de cendres de chaufferie bois sur plantes médicinales (la Valériane) en agriculture biologique. Cette étude est réalisée dans le Morvan, c'est-à-dire sur sol acide. Le suivi est effectué par le Service de Développement de l'Agriculture Biologique en Bourgogne.

Trois bandes de culture de Valériane sont étudiées : sans amendement, avec l'amendement ordinaire et avec cendres biomasse (chaufferie du Morvan). Des études de production, de sol et des caractéristiques des plantes sont prévues.

5.2 - VALORISATION DES CENDRES BIOMASSE EN FORET

5.2.1 Une filière balbutiante

Les cendres biomasse (issues principalement de la combustion de plaquettes et d'écorces) constituent une forme d'amendement agricole intéressante compte tenu de leur richesse en éléments minéraux.

En France, des expériences pilotes d'épandage sont en cours dans le domaine agricole mais il en existe peu dans le domaine forestier.

La réponse forestière à des applications de cendres de chaudières biomasses a par contre été étudiée dans les pays scandinaves et dans une moindre mesure aux Etats-Unis.

En Scandinavie, le développement des chaufferies bois de forte puissance, dans l'industrie et le tertiaire, conduit à une production élevée de cendres de bois (plus de 100 000 t/an en Finlande par exemple).

La question des filières de valorisation des cendres est donc primordiale. La restitution en forêt résineuse sur sol acide de ces éléments minéraux fertilisants, exportés lors de l'exploitation du bois, est particulièrement intéressante. Elle fait l'objet de nombreux programmes de recherche.

Plusieurs solutions technologiques ont ainsi émergé en Scandinavie pour conditionner et épandre les cendres de bois :

- un pré-traitement consiste à injecter de l'eau dans les cendres pulvérulentes pour parvenir à une humidité de 35 % sur masse brute (solidification des cendres). Elles sont alors stockées jusqu'à la période d'épandage (après les coupes) et concassées lors du chargement du camion qui les transporte sur les parcelles forestières,
- la granulation (compaction d'un matériau qui demeure sec) est particulièrement intéressante pour accélérer la vitesse du chantier d'épandage ou pour l'épandage par hélicoptère.

En Finlande, où la mise en place de ces filières est en cours, environ 15 000 t de cendres sont d'ores et déjà recyclées chaque année en forêt. Des études sont toutefois en cours sur l'impact environnemental.

En terme de résultat, des gains de 25 à 60 % sur la croissance du saule, du peuplier, pin sylvestre, sont observés après plusieurs années en Finlande et sur un bon nombre d'espèces nord-américaines, en relation avec l'augmentation dans le sol du potassium, du calcium et du magnésium.

Néanmoins, les résultats prometteurs sont à nuancer. En effet, une expérimentation de l'AFOCEL, menée en partenariat avec l'usine International Paper de Saillat sur Vienne sur des taillis de châtaigniers, a démontré que la réponse en matière de gain de production n'est pas acquise dès les premières années. Cette étude conclut à la nécessité de réaliser des essais complémentaires afin de définir plus précisément les quantités, les espèces et les situations forestières les mieux appropriées (études de suivis expérimentaux comme engagés pour les boues de STEP) (cf. 4.2.3).

Ces résultats très prometteurs pour certains le sont nettement moins pour d'autres. Ainsi, une étude de l'Institut de recherche SkogForsk (Suède) a montré que la réintroduction des cendres dans la forêt nuit à la croissance des arbres. L'écocycle artificiel des minéraux, c'est à dire la réintroduction des cendres en forêts, provoquerait une augmentation du pH du sol et une diminution des réserves d'azote de la forêt (il a été vu par les analyses que les teneurs en azote des cendres sont effectivement très faibles), réserves qui participent à la croissance des arbres.

5.2.2 Application aux cendres étudiées

Concernant les cendres analysées dans cette étude, il est plutôt envisageable de travailler avec les cendres issues d'un combustible non traité (plaquettes ou écorces). Les cendres brutes de déchets bois pourraient ne être compatibles avec un épandage forestier (présence de métaux lourds ou d'éléments « inertes »).

Les cendres obtenues par extraction humide présentent l'avantage d'être préconditionnées (cendres solidifiées) mais sont moins concentrées en éléments fertilisants du fait du lavage.

Les cendres de plaquettes, et extraites par voie sèche, offrent une meilleure composition chimique mais devront être conditionnées avant l'épandage.

Dans tous les cas, il conviendra de préciser les quantités, les espèces et les situations forestières appropriées par des études in situ.

5.2.3 Analogie avec les boues de STEP

Afin de préparer le futur arrêté sur l'épandage des boues sur parcelles boisées, le MATE et le MAP ont créé en 1999 le comité technique pilotage national « épandage des boues de STEP sur parcelles boisées ».

La première tâche de ce comité a été de réaliser un bilan de l'expertise française concernant l'utilisation forestière des boues de STEP.

Ce premier bilan a montré que l'expertise française en matière d'épandage des boues en conditions forestières est très limitée comparativement à l'épandage sur sols agricoles.

Néanmoins, les résultats des différentes expérimentations scientifiques (françaises et étrangères) mettent en évidence :

- des effets généralement positifs sur la fertilité et la croissance des arbres,
- des effets parfois indésirables lors d'apport de fortes doses,
- une hétérogénéité des réponses en fonction des essences d'arbre, du milieu et des types de boues,
- une accumulation des éléments traces métalliques dans les sols de surface,
- des résultats hétérogènes et difficilement transposables à l'ensemble des boues et des contextes climatiques et forestiers,
- un manque de connaissances sur les risques pour les écosystèmes.

Ces différentes constatations peuvent être reliées aux observations réalisées (principalement en Scandinavie) dans le cas des cendres de combustion biomasse.

Le comité technique « épandage de boues de STEP sur parcelles boisées » a décidé de créer un réseau national de sites expérimentaux sur le moyen et long terme (> 5ans), ce type d'approche est donc également nécessaire pour permettre l'épandage des cendres de combustion biomasse en forêt.

Le suivi des dispositifs expérimentaux doit être réalisé à plusieurs niveaux afin de permettre une comparaison entre les différents traitements et d'évaluer l'évolution dans le temps du milieu récepteur. Le suivi portera donc sur les produits épandus et sur les compartiments du milieu récepteur : sol, eau, peuplement forestier, végétation accompagnatrice et faune.

5.3 - VALORISATION INDUSTRIELLE

5.3.1 Industrie de la céramique

Les céramiques constituent une famille de matériaux de base et sont, pour la plupart, constitués de composés naturels tels qu'oxydes, silicates, ... traités à des degrés divers à haute température.

Les activités liées à la céramique peuvent être séparées en trois secteurs :

- céramiques artisanales (poterie, décoration, ...),
- céramiques traditionnelles :
 - ⇒ terre cuite (tuiles, briques),
 - ⇒ réfractaires (cheminées, briques isolantes),
 - ⇒ art de la table (grès, faïence),
 - ⇒ carrelage,
 - ⇒ sanitaire,
 - ⇒ porcelaine.
- céramiques techniques.

Elles sont plus récentes et interviennent dans des secteurs tels que l'aéronautique, l'électronique, la mécanique, ...

L'utilisation de cendres biomasse ne peut intervenir que dans les deux premiers secteurs, les céramiques techniques utilisent des matériaux plus complexes tels que le carbure de silicium.

Dans le secteur traditionnel, la demande en matières premières de substitution est forte.

Les informations qui suivent sont le résultat de contacts pris avec la Société Française de Céramique et l'Institut de Céramique Française.

a) **Céramiques artisanales**

Dans ce secteur, les artisans brûlent de la biomasse (fougères, chênes, ...) afin d'obtenir des cendres.

Ces cendres sont lavées et intégrées dans les émaux comme matière première fondante.

Les cendres permettent de jouer sur les couleurs et sur les motifs des céramiques obtenues.

b) Céramiques traditionnelles

En première approche, la composition chimique des cendres est compatible avec les compositions des céramiques dont les oxydes principaux sont les suivants :

SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Fe_2O_3 et alcalins.

Selon les avis d'experts, le profil des cendres est intéressant pour le secteur de la céramique traditionnelle avec un intérêt plus marqué pour les réfractaires et le sanitaire.

Pour chaque cendre analysée, les commentaires ont été les suivants :

- ***Cendres de plaquettes (St-Jean, La Compote)***

Elles cumulent un très faible taux d'oxydes colorants (Fe + Ti + Mn), un taux intéressant de fondants alcalins (11 % de Na_2 et K_2O) et la perte au feu la plus réduite.

Cependant, le taux de CaO est élevé avec une proportion de chaux non combinée importante. Cette teneur en chaux libre fait craindre des problèmes de prise et de stabilité des bains d'émaux en phase humide.

- ***Cendres d'écorces (La Ferté Macé)***

Elle reste peu chargée en oxydes colorants et son taux plus réduit de CaO au profit de la silice pourrait être favorable.

- ***Cendres de palettes***

Cette cendre contient peu de chaux libre mais accuse un taux élevé d'oxyde de fer qui pourrait lui conférer une couleur trop prononcée et une fusibilité trop précoce (à vérifier pour les produits céramiques rouges).

- ***Cendre de scierie :***

La cendre de scierie présente un profil relativement intermédiaire mais est caractérisée par une teneur en métaux importante.

La complexité de ces associations d'oxydes débouchera sur des eutectiques fondants difficiles à prévoir.

De la même façon, le comportement rhéologique induit (les produits céramiques sont souvent mis en œuvre par voie liquide au sein de suspensions concentrées) devra être examiné en raison de la puissance en oxydes alcalino terreux.

Afin de valider la compatibilité des cendres avec la fabrication de céramiques, il conviendrait de mettre ces cendres en situation de comportement céramique :

- cuisson gradient entre 1 000 et 1 300°C :
 - ⇒ comportement pyroscopique,
 - ⇒ évolution de la couleur,
 - ⇒ évolution de la texture (densification, alvéolage, bouillonnement).

- comportement rhéologique :
 - ⇒ évolution de la viscosité d'un barbotine d'accueil dans laquelle 10 % de cendres seront incorporés,
 - ⇒ demande de défloculant nécessaire et suffisante,
 - ⇒ concentration maximale,
 - ⇒ viscosité du milieu.

En terme de besoin, les industries sanitaires pourraient substituer environ 10 % des matières premières par des cendres ; soit une consommation approximative de 2 t/j et par usine, soit un besoin annuel de l'ordre de 500 tonnes par usine. On compte environ 20 fabricants de sanitaire implantés sur le territoire français.

5.3.2 Matériaux pour la construction et les Travaux Publics

□ Matériaux de construction

Le secteur de la construction utilise, depuis de nombreuses années, des sous produits d'autres secteurs industriels et on peut citer en particulier l'utilisation de cendres volantes de centrales thermiques à charbon.

Ces cendres volantes sont même devenues des matières à part entière dans la fabrication des bétons et lui confèrent des propriétés particulières. Ces cendres présentent, en général, des propriétés pouzzolaniques. L'activité pouzzolanique d'un matériau peut être définie comme la capacité des silicates et aluminates ce matériau à réagir, en présence d'eau, avec la chaux hydratée pour former des hydrates. Le liant pouzzolanique permet la formation d'une large gamme de produits hydratés qui contribuent à la prise et au durcissement du matériau. L'incorporation d'un tel matériau dans un béton ou mortier se fait en remplacement d'une partie du ciment et permet ainsi une économie sur la fourniture en ciment.

Il est rappelé que la chaux hydratée ou éteinte Ca(OH)_2 est la forme hydratée de la chaux vive CaO . La teneur en chaux libre représente la somme des concentrations en chaux hydratée et en chaux vive. C'est la teneur en chaux éteinte qui est significative pour l'activation des réactions hydrauliques dont résulte la prise du ciment.

Globalement d'après les résultats des essais réalisés sur les 5 échantillons sélectionnés, les cendres de biomasse semblent avoir **un pouvoir pouzzolanique très faible** et difficilement exploitable et ce pour plusieurs raisons :

- les indices d'activité sont faibles (0 à 50 % au maximum), ils sont au minimum de 75 % pour les cendres de charbon à 28 jours,
- une teneur en alumine faible,
- la spéciation de la silice (sous forme de quartz) conduit à des silicates peu réactifs,
- des teneurs en chaux libre importantes (la transformation de la chaux vive en chaux éteinte est exothermique et expansive),
- des teneurs en métaux importantes (sauf pour les cendres de plaquettes et d'écorces) qui vont induire des perturbations de la prise et du durcissement du liant hydraulique,
- l'avis des techniciens qui ont pratiqué les essais (aspect visuel des cendres et de la rhéologie lors du malaxage),
- les éléments grossiers et les taux d'imbrûlés.

Seule exception, il pourrait être envisageable d'utiliser la cendre de La Ferté Macé, obtenue par extraction humide, comme matière de substitution dans les matériaux de construction (après essais complémentaire de validation) du fait de ses caractéristiques (faible FS, peu de métaux lourds, indice d'activité le plus élevé, chaux vive transformée en chaux hydratée au niveau du process).

Cependant, la restriction aux cendres issues de biomasse non transformée et extraite par voie humide limite le gisement et n'apparaît plus compatible avec les besoins des cimentiers (une cimenterie consomme environ 500 t/jour de cendres).

Les compositions chimiques des cendres ont toutefois été transmises à des cimentiers pour avis d'experts. Un pré-traitement des cendres pourrait peut être les rendre compatibles avec une utilisation en cimenterie, les cimentiers recherchant des alternatives aux cendres de charbon du fait de la fermeture annoncée des dernières centrales thermiques.

Si les cendres ne possèdent pas de propriétés pouzzolaniques intéressantes, 3 sur 5 des échantillons ne présentent pas de caractéristiques empêchant leur incorporation dans les mortiers et bétons en tant que correcteur granulométrique (apport d'éléments de type sable fin ou filler).

Après extinction de la chaux vive et élimination des éléments grossiers (imbrûlés ou éléments métalliques), les cendres pourraient être utilisées en tant qu'ajout de type filler afin d'optimiser le fuseau granulaire. Les analyses granulométriques ont démontré la finesse de ces sous produits avec un passant à 160 µm important (estimé à environ 90 %, excepté pour les cendres de palettes). Ainsi, les cendres pourraient être utilisées pour la réalisation de matériaux tels que les parpaings où le filler calcaire serait remplacé par les cendres.

□ **Utilisations en techniques routières**

Par assimilation avec l'utilisation des mâchefers d'ordures ménagères (MIOM), les cendres biomasse pourraient entrer dans la constitution de remblais et sous couches de chaussées en tant que :

- liant à faible caractère pouzzolanique,
- correcteur granulométrique ou filler dont le rôle est de compléter la granulométrie d'un matériau pauvre en fraction fine (inférieure à 500 µm).

L'analogie avec les MIOM implique donc de comparer les cendres biomasse à la circulaire du 9 mai 1994 relative à l'utilisation des MIOM en technique routière.

Or les analyses ont démontré qu'il existe toujours un paramètre discriminant (fraction soluble, teneur en imbrûlés ou teneurs en métaux lourds) qui ne permet pas de valoriser ces cendres au même titre que les MIOM.

Par contre, certaines des cendres analysées pourraient rentrer dans la catégorie valorisable au sens de la circulaire mâchefer après un pré-traitement (analogie avec la période de maturation des mâchefers). Une diminution de la fraction soluble (par lavage) permettrait de valoriser les cendres de plaquettes en techniques routières, mais le problème à prendre en compte serait alors le traitement et l'élimination des eaux de lavage.

5.4 - TRAITEMENT D'ODEUR

Le traitement des mauvaises odeurs peut être réalisé par transfert gaz – solide ou adsorption des molécules odorantes.

L'adsorption peut être considérée d'une manière simple, comme une augmentation de la concentration d'une substance à l'interface solide – fluide.

Le charbon actif est l'adsorbant le plus utilisé. C'est un produit manufacturé obtenu à partir d'hydrates de carbone minéraux ou organiques.

Toutefois, il existe des matériaux adsorbants naturels tels que :

- les sols,
- la tourbe,
- la sciure de bois,
- les zéolites,
- les argiles,
- le gel de silice.

Les cendres de bois peuvent s'ajouter à cette liste de matériaux adsorbants. En effet, des opérateurs américains qui ont pu observer que des mélanges cendres / boues conduisaient à une limitation des mauvaises odeurs (Revue Biocycle). De plus, l'utilisation de cendres ne nécessite pas d'opération de séparation / criblage par la suite.

Les caractéristiques des cendres biomasses qui contribuent à l'adsorption des molécules odorantes ne sont pas connues ; seules quelques hypothèses ont pu être avancées :

- teneur en carbone,
- caractéristiques du réseau poreux,
- fonctions de surface.

L'étude et l'analyse de ces différents paramètres seront donc nécessaires si l'efficacité des cendres pour le traitement d'odeurs est vérifiée (par des essais en colonnes sur des gaz tels que H₂S ou les mercaptans).

6 - CONCLUSIONS

Le développement de la filière bois énergie, du fait de l'intérêt indéniable du bois en tant que combustible pour la lutte contre le changement climatique, a conduit à une croissance importante du nombre de chaufferies utilisant du bois comme combustible (nombre multiplié par 10 depuis 1994). Ces chaufferies permettent donc la production d'énergie renouvelable et conduisent à la production de cendres.

La quantité de cendres produite dépend de la puissance de la chaudière (tonnage bois entrant) et du combustible utilisé (taux de cendre variable). Compte tenu du taux de cendre faible (en moyenne 2 à 4 % du tonnage entrant), des puissances installées (95 % des installations ont une puissance inférieure à 4 MW) et de l'activité saisonnière, le gisement total en cendres reste relativement faible (production totale nationale de 37 000 t/an en hypothèse haute). A titre d'exemple, une installation de 8 MW produit environ 600 tonnes de cendres par an.

La Réglementation concernant les cendres de chaufferies bois est complexe car elle dépend de la puissance de la chaudière et du type de combustibles.

Lorsqu'il s'agit de déchets bois (ne contenant ni métaux lourds, ni composés halogénés), la chaufferie est une ICPE soumise à autorisation ($P > 0,1 \text{ W}$) et l'épandage ou l'enfouissement des cendres est réglementé.

Lorsqu'il s'agit de biomasse, le statut de la chaufferie peut ne pas être une ICPE ($< 2 \text{ MW}$), une ICPE déclarée (entre 2 et 20 MW) et une ICPE autorisée (Cf fiche de synthèse sur la réglementation). Le devenir des sous-produits dépend du RSD (règlement sanitaire départemental) pour les petites chaufferies non ICPE ; pour les chaufferies qui sont des ICPE déclarées, il n'existe rien réglementairement concernant les conditions d'épandage.

Les cendres de chaufferies bois ne répondent pas aux critères d'origine correspondants aux amendements minéraux basiques (norme NF U 44-001) et ne peuvent être considérés comme tels tout en ayant une composition intéressante en P et K. Elles ne peuvent pas non plus, être considérées systématiquement comme des engrais selon la norme NF U-42 001 car la plupart des cendres n'est pas assez riche en potassium (K_2O supérieur à 5%) et phosphore (P_2O_5 supérieur à 2%). L'homologation du produit étant nécessitant une démarche longue et coûteuse elle ne devrait être envisagée que dans le cas de très production importante.

En conséquence, quand l'épandage est réglementairement envisageable, celui-ci devrait se faire après réalisation d'un plan d'épandage.

Pour les autres types de valorisation, la réglementation n'existe pas non plus et une attente de la refonte complète sur des résidus de process thermique, c'est la circulaire, la réglementation sur les mâchefers d'incinérations d'ordures ménagères qui est la plus souvent utilisée par analogie (**cf. fiche synthétique sur la réglementation**).

La « qualité » des cendres produites, c'est-à-dire leurs compositions physico-chimiques et leurs valeurs agronomiques sont fonction du combustible utilisé, de l'efficacité de la combustion (taux d'imbrûlés) et du mode d'extraction des cendres (humide ou sec).

Les visites d'installations et la consultation d'exploitants de chaufferie ont montré qu'il n'existe pas de filière de valorisation clairement définie. Pour une partie des installations, les cendres sont évacuées en décharge ou éliminées (quelque soient les caractéristiques des cendres), les autres installations valorisent les cendres par épandage agricole. Cette valorisation ne peut être considérée comme une filière à part entière (manque d'analyses des cendres et sols et d'étude de la productivité).

Des études ponctuelles ont été réalisées pour mesurer l'efficacité des cendres sur les rendements agricoles. La valorisation industrielle (matériaux du BTP) n'a été examinée que de façon très ponctuelle par des exploitants.

Aux vues des analyses réalisées et de la bibliographie sur le sujet, il est proposé les filières de valorisation suivantes :

- épandage agricole moyennant un plan d'épandage ou une homologation qui vont conditionner le type de cendres à épandre, et le milieu récepteur (sol et cultures), un prétraitement peut être nécessaire (**cf. fiche descriptive**),
- épandage forestier qui permet un écocycle artificiel des minéraux, cette filière est réservée aux cendres de biomasse « naturelle » (plaquettes, connexes de scierie), et devra être accompagnée d'une étude de la production végétale (**cf. fiche descriptive**),
- la valorisation des cendres en cimenterie est très compromise du fait des gisements faibles comparés aux besoins de cimentiers et par la composition chimique des cendres,
- l'utilisation en technique routière également non adaptée (compositions des cendre brutes non compatibles avec la circulaire mâchefers), un prétraitement des cendres pourrait rendre cette filière envisageable,

- la valorisation de certaines cendres dans l'industrie céramique est tout à fait envisageable (compositions chimiques et gisement compatible), des essais complémentaires sont indispensables (**cf. fiche descriptive**),
- l'ajout de cendres en tant qu'absorbants d'odeurs devra être confirmé.

Toute valorisation est conditionnée par la stabilité, dans le temps, du type de combustible et du mode de combustion.

Les cendres de biomasse naturelle (plaquettes, écorces) présentent des caractéristiques qui les rendent compatibles avec toutes les filières jugées envisageables précédemment.

Au contraire, les cendres de déchets bois (broyats de palettes, sciure, ...) sont composées d'éléments inertes et/ou de métaux lourds (en quantité importante). Aussi, la valorisation de ce type de cendres est problématique sans pré-traitement.

Ce dernier point sera de plus en plus problématique au vue de la réglementation qui permet, depuis peu (circulaire de juin 2001), l'utilisation de tous déchets bois (sans métaux lourds ou composés organo-halogénés) en chaufferie.

Une dernière fiche descriptive est présentée, celle qui concerne le stockage en centre d'enfouissement technique (CETII) ou en centre de stockage de déchets ultimes (CSDU) qui représente la filière d'élimination réglementaire des cendres de chaufferies bois (**cf. fiche descriptive**).

GLOSSAIRE

MAP : Ministère de l'agriculture et de la pêche

MATE : Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement

BTP : Bâtiment – Travaux publics

MIOM : Mâchefer d'Incinération d'Ordures Ménagères

RPT : Résidus de Process Thermique

STEP : Station d'Épuration

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

DPPR : Direction de la Prévention de la Pollution et des Risques

CSDU : Centre de Stockage des Déchets Ultimes

CET II : Centre d'Enfouissement Technique de Classe II pour les déchets ménagers
et assimilés

PTM : Puissance Thermique Maximale

RSD : Règlement Sanitaire Départemental

HAP : Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques

PCB : Poly-Chloro-Biphényles

Références Bibliographiques

GESTION ET TRAITEMENT DES DECHETS DE LA PAPETERIE « NOTE DE SYNTHESE » - février 2001, Virginie GARCIA/DIFP/ADEME Angers, 2 pages

LA PAILLE : UN COMBUSTIBLE RENOUVELABLE - mai 2001, Environnement & Technique n° 206, pp 28 à 30

LES ALTERNATIVES A L'EPANDAGE AGRICOLE CLASSIQUE – avril 2001, site internet de l'ADEME, 8 pages

LA VALORISATION THERMIQUE DES BOIS FAIBLEMENT ADJUVANTES – juin 2001, site internet dechetcom.com, 3 pages

DECHETS – RECYCLAGE ET VALORISATION DE RESIDUS DANS L'INDUSTRIE ROUTIERE – août 2000, Environnement & Technique n° 198, pp 41 à 45

LES COMBUSTIBLES BIOMASSE EN EUROPE – mars 2001, site internet de biovert.com, 2 pages

LE RETOUR DES CENDRES EN FORETS – site internet Antti.korpilahti@metsateho.fi, p6

ETUDE DE MARCHE « LES CENDRES D'INCINERATION DE BOUES DE STEP » - juin 1999 – Communauté Urbaine du Grand Lyon, Etude du BE TRIVALOR, pp 79 à 93

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF WOOD ASH – 1991 – Bioresource Technology, 29 pages

ETUDE DE LA GESTION ET DU TRAITEMENT DES BOUES DE L'INDUSTRIE TEXTILE – août 2001, Etude TRIVALOR pour l'ADEME et EDF, 63 pages et annexes

TRAITER ET VALORISER LES BOUES – n° 2 – Collection OTV de 1997, 457 pages

ETUDE DE MARCHE DES DEUX DECHETS COMMUNAUTAIRES : LES MACHEFERS D'INCINERATION D'ORDURES MENAGERES – LES CENDRES D'INCINERATION DE BOUES DE STEP – juin 1999, Etude TRIVALOR pour la Communauté Urbaine du Grand Lyon, 93 pages et annexes

SYNTHESE CENDRES - mars 1998, formation PBEDL, 9 pages

BOIS ENERGIE : LES CENDRES POUR L'AGRICULTURE – 14 décembre 2000, Presse Environnement, p2

CENDRES ET MACHEFERS DES COMBUSTIBLES DERIVES DE LA BIOMASSE – septembre 1985, Centre de recherche de Solaize ELF AQUITAINE, Direction Générale raffinage distribution, 31 pages

DETERMINATION DE LA VALEUR DU PRODUIT CENDRES DE CHAUFFERIE BOIS ET EXAMEN DES POSSIBILITES DE LEUR VALORISATION AGRONOMIQUE – 1990, AFME Service Agriculture Bois Biomasse, 62 pages

EPANDAGE DE BOUES DE STATION D'EPURATION EN CONDITIONS FORESTIERES, SITUATION ACTUELLE ET PERSPECTIVES – septembre 1999, INRA, 10 pages

EPANDAGES EXPERIMENTAUX DE BOUES SUR PARCELLES BOISEES, RECOMMANDATIONS POUR LA CONCEPTION ET LE SUIVI DE DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX, version provisoire (n°2) – mars 2001, INRA, 50 pages

ETUDE DES POSSIBILITES DE VALORISATION AGRICOLE DES CENDRES ISSUES DE LA COMBUSTION DE DECHETS DE BOIS DE LA FUTURE CHAUFFERIE DE CHAUFFAGE URBAIN DE LA VILLE D'AUTUN – août 1997, AGRO DEVELOPPEMENT – HARRY J.P et LOUARN N, 29 pages

LE BOIS-ENERGIE EN CHIFFRES – septembre 2000, Environnement Magazine – Enjeux n° 1590, p38

LES CENDRES DE PAPETERIE – ESSAI DE VALORISATION EN FORET – 2000, AFOCEL n° 2-2000 Fiche 607, 6 pages

LES CENDRES ENDOMMAGENT LA FORET – juin 1998, Association Franco-Suèdoise pour la Recherche, AFSR, e.mail

MISSION POUR LA VALORISATION AGRICOLE DES DECHETS, août 1994, Département de la Seine Maritime – Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt, 14 pages

ODOR CONTROL PROGRESS FOR SLUDGE COMPOSTING – mars 1993, Journal fo waste recycling BIOCYCLE , pp 56 à 59

POINT D'INFORMATION SUR LE COMITE TECHNIQUE DE PILOTAGE NATIONAL « EPANDAGE DES BOUES DE STATION D'EPURATION SUR PARCELLES BOISEES » - septembre 2001, Isabelle FEIX – ADEME – DAGAL, 5 pages

UTILISATION SYLVICOLE DE PRODUITS RESIDUAIRES – mars 2000, ADEME et INRA, 81 pages

WOOD AND COMBINATION WOOD-FIRED BOILER ASH CHARACTERIZATION – 1996, J. Environ. Qual., pp 962 à 972

Références Réglementaires **(* présentées en Annexe 2)**

Projet d'Arrêté sur les grandes installations de combustion (GIC)

- * Note de service de la Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques (DPPR) du 06/07/2001 – Installations de combustion de bois – cas particulier MATE des déchets de bois
- * Note de service de la Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques (DPPR) du 10/04/2001 relative aux Installations Classées pour la protection de l'environnement, Pollution de l'air et combustion de bois, cas particuliers MATE des déchets de bois
- * Arrêté du 21/12/1998 relatif à l'homologation des matières fertilisantes et supports de culture
- * Extrait de l'Arrêté du 02/02/1998 sur les rejets et émissions des ICPE soumises à autorisation
- * Rubrique ICPE 2910 – Installations de combustion

Arrêté du 08/01/1998 (JO du 31/01/1998) fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles

- * Extrait de l'arrêté du 25/07/1997 – Prescriptions applicables aux installations de la Rubrique 2910 A – Déclaration

Décret du 08/12/1997 – 1133 (JO du 10/12/1997) relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées

Circulaire du 11/10/1996 – 85 (BO Min Eqpmt 10/12/1996) relative aux cendres issues de la filtration des gaz de combustion de combustible d'origine fossile dans des ICPE

Circulaire du 10/01/1996 sur les résidus de l'incinération des déchets ménagers

Circulaire du 30/04/1996 – 240 relative à l'épandage en agriculture de déchets d'IC

- * Circulaire mâchefers n° 94-IV-1 du 9/05/1994

Décret du 29/03/1993 (JO du 30/03/1993) relative à la nomenclature des opérations soumises à D ou à A en application de l'article 10 de la Loi 92-3 du 03/01/1992 sur l'eau

Arrêté du 18/12/1992 (JO du 30/03/1993) relatif au stockage de certains déchets industriels spéciaux ultimes et stabilisés pour les installations nouvelles

Loi du 03/01/1992 – 3 (JO du 04/01/1992) sur l'eau

Arrêté du 25/01/1991 (JO du 08/03/1991) relatif aux installations d'incinération de résidus urbains

Directive du 12/06/1986 – 278 (JOCE du 04/07/1986) relative à la protection de l'environnement et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture

Arrêté du 27/12/1982 (JO du 25/01/1983) - Mise en application des normes

Arrêté du 11/09/1981 (JO du 02/10/1981) – Homologation des matières fertilisantes et des supports de culture

* Décrets du 16/06/1980 477-478 pris en application de la Loi du 13/07/1979, modifié le 12/05/1999

* Loi du 13/07/1979 relative aux matières fertilisantes et supports de culture

Circulaire du 09/08/1978 – Règlement sanitaire départemental type

NORMES RELATIVES AUX MATIERES FERTILISANTES **(* présentées en Annexe 2)**

* NF-U 42-001	Engrais : dénomination et spécifications
NF-U 42-002 et 42-003	Engrais à teneurs déclarées en oligo éléments destinés à être apportés au sol, etc ...
NF-U 42-004	Engrais pour solutions nutritives minérales
NF-U 42-041	Matières fertilisantes : vocabulaire
NF-U 42-042	Matières fertilisantes : classification
NF-U 44-001	Amendements basiques
NF-U 44-041	Boues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines
NF-U 44-051	Amendements organiques - Dénominations et spécifications
NF-U 44-071	Amendements organiques avec engrais
NF-U 44-203	Amendements calciques et/ou magnésiens – Engrais
NF-U 44-551	Support de cultures – Dénominations et spécifications

NORMES RELATIVES AUX MATERIAUX DE BTP

NFP 18-302	Granulats à base de laitier
NFP 18-307	Laitiers expansés
NF 18-506	Laitiers vitrifiés moulus
NF 98-110	Cendres volantes silico alumineuses
NF EN 450	Centres volantes pour béton
NF ENV 19-1	Cendres volantes pour ciment
NF ENV 12-920	Méthodologie d'évaluation du comportement à long terme