



Le Bois INTERNATIONAL

L'officiel du bois >>> Scierie / Exploitation forestière

L'hebdomadaire
de la filière bois

I.S.S.N. : 1760 - 4672

78^e Cahier du bois-énergie

Supplément au N° 42 - 944
3,50 euros
samedis 9 et 16 décembre 2017

Etat des lieux
Différents types de cendres

p. 4

Débouchés
Quelles pistes de valorisation ?

p. 9

Retours d'expériences
Normandie : schéma régional
de valorisation

p. 16



Valorisation des cendres issues des chaufferies collectives et industrielles au bois



COMBINÉ SCIEUR/FENDEUR -
TITAN 40/20 PREMIUM



FENDEUSES TITANIUM de 10 à 27 tonnes
**TREUILS FORESTIERS - PROFI,
PREMIUM et STANDARD**
PINCES À GRUME SCORPION
PINCES

Distributeur en France
Bureau de Liaison - Alfred Fuchs
T 03 89 68 92 43
F 03 89 68 90 24
E bureau@afuchs.fr

Uniforest d.o.o.
T +386 3 777 14 19
F +386 3 777 14 18
E export@uniforest.si
www.uniforest.com

Électricité et chaleur par le bois



KOHLBACH

RELEASE ENERGIES
INCREASE BENEFITS

Chaudières biomasse
& cogénération

- Etudes
- Fabrication
- Services



www.kohlbach.fr

Contact : kb@kohlbach.fr
ou M. Marc HOUIN - 06 12 13 67 69



REJOIGNEZ-NOUS
SUR LES RÉSEAUX SOCIAUX...



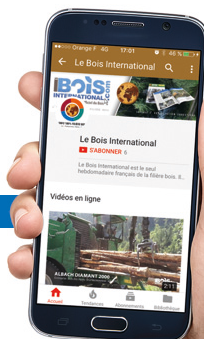
...ET DÉCOUVREZ
NOTRE CHAÎNE YOUTUBE !

DES DÉMOS POUR PLUS D'INFO



YouTube FR Le Bois International

ABONNEZ-VOUS



Valorisation des cendres issues des chaufferies collectives et industrielles au bois

Sommaire

- Edito, par Mathieu FLEURY et Dominique PLUMAIL p. 3
- Typologie et caractéristiques des cendres de bois p. 4
- Valorisation agronomique des cendres de bois p. 9
- Valorisations alternatives des cendres de bois p. 12
- Elaboration d'un schéma régional de valorisation des cendres des chaufferies collectives et industrielles au bois en Normandie p. 16

Les Cahiers du bois-énergie, co-édités par Biomasse Normandie et le Comité interprofessionnel du bois-énergie (CIBE), sont publiés avec le soutien de l'Ademe (direction productions et énergies durables - service forêt, alimentation et bioéconomie) et du Bois International, sous la responsabilité éditoriale de Biomasse Normandie.

Ce Cahier a été préparé par Stéphane COUSIN et Mathieu FLEURY (Biomasse Normandie), Dominique PLUMAIL et Dominique BOULDAY (CEDEN), Serge DÉFAYE et Clarisse FISCHER (CIBE). Il est en grande partie basé sur les travaux réalisés par le CIBE en 2017 (structuration des filières de valorisation des cendres) et 2016 (bonnes pratiques et professionnalisation) et par CEDEN en 2016 (étude "Valorisation des cendres issues de la combustion de biomasse - Revue des gisements et des procédés associés" réalisée par CEDEN et LDAR pour le compte de Record) et 2015 (note "Les cendres de biomasses et leur intérêt agronomique, agricole et environnemental"). Nous remercions pour leur contribution l'ensemble des membres de la commission "retours d'expérience de conception, construction et exploitation" du CIBE et tout particulièrement les animateurs successifs de celle-ci, Jean-Pierre TACHET et Jean-Marc BERTRAND (CIBE). Mise en page par la rédaction du Bois International.

Recyclage agronomique des cendres : faut-il remettre en cause un exemple séculaire d'économie circulaire ?

La combustion n'est rien d'autre qu'une oxydation thermochimique de la matière : les substances organiques apportent le contenu énergétique et les minéraux forment les cendres. De tout temps, ces sous-produits ont été valorisés dans les jardins, sur les massifs de fleurs, au pied des arbres ou dans les champs. La cause : leur richesse en chaux et en potasse.

Faudrait-il, parce que la production est devenue massive avec le développement de la filière bois-énergie dans l'Hexagone, faillir à ces traditions et modifier fondamentalement ces pratiques séculaires ?

La réponse est probablement non. Mais l'interprétation des textes réglementaires par les services de l'État pourrait conduire à un enfouissement systématique de ces sous-produits de la combustion en rompant ainsi le cycle biogéochimique de la matière.

Depuis la fin des années 90, le retour au sol s'est mis en place de façon très pragmatique par les gestionnaires des chaufferies ou leurs fournisseurs de combustible :

- un plan d'épandage spécifiquement élaboré pour les installations de forte puissance soumises à autorisation et produisant des quantités importantes (souvent supérieures à 500 t/an) ;
- une introduction dans les composts de déchets verts, dans de faibles proportions, pour les chaufferies de moyenne puissance (plusieurs dizaines à quelques centaines de tonnes par an) ;
- une utilisation locale sur les espaces verts pour les communes équipées d'une chaudière de faible puissance (au plus, quelques tonnes par an).

Ces deux dernières organisations apparaissent cohérentes et adaptées aux volumes produits par

les installations de petite et moyenne puissances. Elles permettaient en effet d'enrichir les composts de végétaux en minéraux et en oligo-éléments en s'appuyant sur un réseau d'infrastructures suffisamment diffus pour autoriser en tout point du territoire national une valorisation raisonnée.

Mais la révision de la norme sur les amendements organiques en 2010 interdit désormais l'introduction de cendres dans les composts normalisés. La valorisation devient donc bien plus complexe, au moment même où un nombre de plus en plus élevé de chaufferies comprises entre 2 et 20 MW est mis en service chaque année. On estime en effet leur production à près de 200.000 tonnes par an, la profession estimant que 70% environ sont valorisés en agriculture. À moyen terme, ce flux devrait représenter près de 500.000 t/an si l'objectif de développement de la biomasse est respecté.

En outre, et dès lors que l'on cherche également à minimiser les gaz à effet de serre et à développer l'économie locale, il est bon de rappeler que le retour au sol des cendres de bois permettrait de réduire à l'horizon 2030 les intrants agricoles fossiles à raison de 20 M€/an et les émissions de gaz à effet de serre de plus de 1,3 MtCO₂/an ! La simplification des textes réglementaires est (à nouveau) au cœur de l'actualité !

Il devient urgent de rapprocher les points de vue de l'Administration et des organisations professionnelles pour s'accorder sur un modèle approprié aux attentes des acteurs de la filière.

Mathieu FLEURY

Directeur de Biomasse Normandie

Dominique PLUMAIL

Directeur et gérant de CEDEN



Typologie et caractéristiques des cendres de bois

Les cendres sont constituées des matières minérales présentes dans le bois et d'éventuels éléments exogènes (terre dans les écorces, clous dans les broyats de palettes...). Elles représentent en général de 0,5 à 2% de la **masse anhydre de combustible**, des teneurs plus importantes pouvant toutefois être constatées. Ainsi, les écorces seules ont un taux de cendres qui dépasse 5% : plus un combustible bois en contient (plaquettes forestières ou bocagères produites à partir de petites branches ou de houppiers...), plus il a un taux de cendres élevé. Les broyats de souches et les biomasses agricoles présentent également une forte proportion d'éléments minéraux. Par ailleurs, d'éventuels imbrûlés et mâchefers (concrétions plus ou moins volumineuses de matière minérale solidifiée) liés à une mauvaise combustion peuvent être récupérés avec les cendres.

Production de cendres en chaufferie

La teneur et la nature des cendres orientent le choix de la technologie de combustion. En particulier, leur fusibilité doit être étudiée : elle est variable selon les types de bois mais d'une manière générale, la transformation en mâchefer débute autour de 900 °C, s'intensifie à partir de 1.200 °C jusqu'à écoulement autour de 1.400 °C. Un taux de minéraux élevé risque de générer une vitrification de ceux-ci, ce qui oblige à utiliser des grilles

mobiles ou des systèmes de recyclage des gaz de combustion pour appauvrir l'air comburant en oxygène et ainsi diminuer la température de foyer.

Au terme du processus de combustion dans un foyer **équipé d'une grille à grâdins mobiles**, sur laquelle le combustible est introduit à l'aide d'une vis ou d'un piston poussoir, les matières minérales se retrouvent pour l'essentiel dans les **cendres sous foyer**. Si elles sont "charbonneuses", elles sont caractéristiques d'une combustion incomplète ; si elles contiennent une proportion élevée de mâchefers, cela témoigne d'une maîtrise imparfaite de la température sur la grille par le conducteur de l'installation ou d'une variation subite et non contrôlée des caractéristiques du combustible (taux d'humidité, teneur en matières minérales).

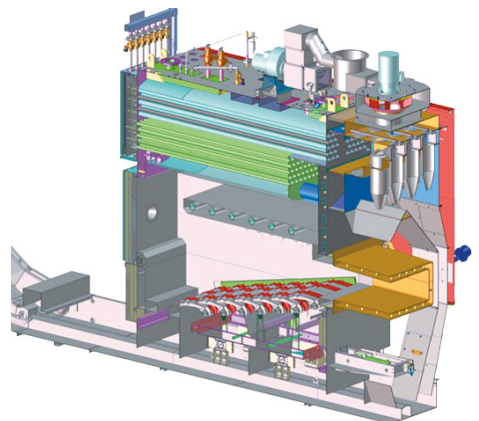
D'autres cendres, qualifiées de "multicycloniques", sont récupérées au niveau de l'équipement de séparation (cyclone ou multicyclone) situé à l'issue du parcours de fumées de la chaudière. Cette "préfiltration" vise, d'une part, à capter les plus grosses particules (20 µm et plus), soit pour tenir les rejets, soit pour ne pas saturer ou surdimensionner un module de filtration performant plus coûteux connecté sur la suite du parcours et, d'autre part, à éliminer les particules incandescentes (carbone imbrûlé) dont l'extraction est indispensable pour ne pas endommager les équipements situés en aval (risque de départ de feu dans les

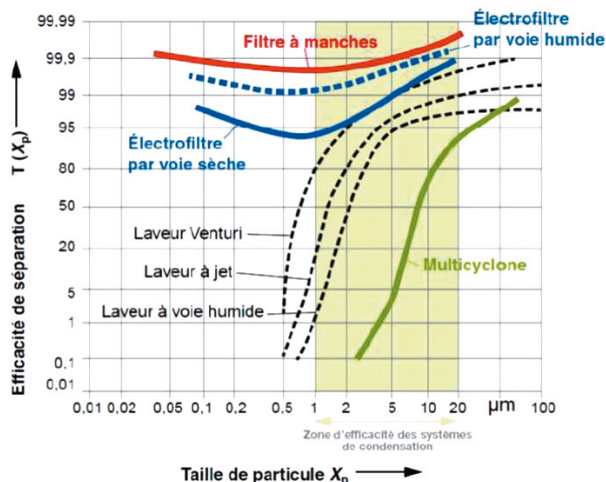
systèmes de dépoussiérage des fumées et de stockage des cendres qui en sont issues). L'équipement (multi)cyclonique est très souvent fourni par le fabricant de la chaudière : il est accolé voire intégré à l'ensemble foyer / chaudière qui forme l'équipement de combustion. Il y a donc une liaison directe et quasi indissociable entre le cyclone, la chaudière et le cendrier : **les cendres multicycloniques sont, compte tenu des moyens technologiques existants, collectées simultanément aux cendres sous foyer** dans la très grande majorité des chaufferies.

Les **cendres volantes issues de l'équipement de dépoussiérage** (filtre à manches ou dépoussiéreur électrostatique, qui présente une forte efficacité pour les particules les plus fines, de 20 µm et moins), exclusivement composées de matières minérales, font l'objet d'un

Coupe de l'ensemble foyer à grilles mobiles, chaudière et multicyclone.

(source Comptel R.)





Efficacité des systèmes de dépollution des fumées.

(source CEDEN, d'après Verenum et Nussbaumer)

être indubitablement proche de celle des cendres sous foyer d'un four à gradins.

Composition physico-chimique des cendres de bois

Les caractéristiques et la qualité des cendres dépendent de nombreux facteurs :

- le type d'intrants, purs ou en mélange (type de biomasse...), et leurs caractéristiques (essence et proportion d'écorce pour le bois...);

- le conditionnement appliqué à ces intrants : broyage, criblage, déferrailage, ajout d'adjuvants dans le cas des biomasses agricoles (CaO pour limiter la production de mâchefers, carbonate de soude pour éviter la production d'acide chlorhydrique ou d'acide sulfurique...);
 - le type de traitement thermique (combustion, pyrolyse...);
 - l'équipement de combustion : four à grilles, lit fluidisé...;
 - la taille de l'installation, la température de combustion;
 - le mode de traitement des fumées : multicyclone, filtre à manches, dépoussiéreur électrostatique;
 - les modalités de récupération des cendres : mélange ou non des cendres sous foyer et cendres multicycloniques, cendres humides ou sèches;
 - la conduite de l'installation;
 - les techniques de post-traitement (mélanges, broyage, extraction chimique...).
- Les éléments présents dans les cendres de bois peuvent être regroupés en quatre catégories principales :

- les éléments majeurs, à l'origine de leur valeur agronomique : éléments fertilisants et neutralisants (K_2O , P_2O_5 , MgO , CaO), carbone organique;
- les éléments traces métalliques (ETM), présents dans le bois comme dans toutes les matières vivantes :

- il s'agit notamment d'oligoéléments (bore, cuivre, zinc...) captés par l'arbre

circuit de collecte et de stockage spécifique au sein de la chaufferie.

Par ailleurs, lorsqu'une récupération d'énergie est réalisée par condensation des fumées, des cendres sont récupérées dans les condensats (boues de condensation).

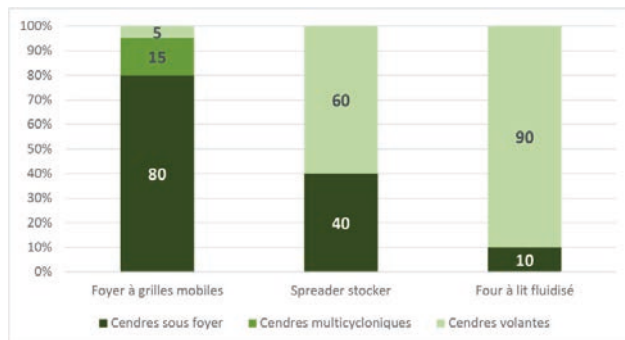
D'autres technologies de combustion sont susceptibles d'être mises en œuvre pour des installations de forte puissance (supérieure à 10 voire 20 MW), certes moins nombreuses que les chaufferies de taille inférieure mais représentant une part de plus en plus importante des cendres produites à l'échelle nationale :

- les foyers équipés d'un système d'introduction pneumatique du combustible (spreader stocker) et d'une grille mobile plane, l'essentiel de la combustion du bois se déroulant en suspension;

- les fours à lit fluidisé, dans lesquels la combustion du bois se déroule intégralement en suspension.

Les proportions de cendres sous foyer, multicycloniques et volantes sont variables selon les technologies. Dans les installations collectives et industrielles les plus courantes (foyers à grilles), elles sont respectivement de l'ordre de 80%, 15% et 5%. En première approche, deux enseignements peuvent être tirés des observations :

- les proportions de cendres sous foyer et de cendres volantes d'un four à lit fluidisé sont, pour un combustible identique, quasi inverses de celles d'une chaudière à gradins (ou à grilles);
- la qualité des cendres volantes d'un four à lit fluidisé doit en conséquence



Proportions de cendres sous foyer, multicycloniques et volantes selon les technologies.

(source CEDEN)



	Moyenne des analyses (Ceden)			Réglementation épandage (logique déchet) France	Norme compost NFU 44-051 France	Projet Commission européenne 2017 engrais *	Réglementations européennes (Allemagne, Autriche, Danemark, Finlande, Suède)
	Période 2003-2014	Période 2003-2010	Période 2010-2014				
	Combustibles : plaquettes forestières, produits connexes de scierie, mélanges incluant broyats d'emballages en bois						
	150 analyses						
Paramètres	mg/kgMS						
Chrome (Cr)	136	154	134	1 000	120		100 - 300
Nickel (Ni)	42	49	37	200	60	120	60 - 200
Cuivre (Cu)	395	368	438	1 000	300		200 - 700
Zinc (Zn)	836	1 151	666	3 000	600		1 200 - 7 000
Cadmium (Cd)	3	6	4	10	3	3	1,5 - 30
Plomb (Pb)	282	457	178	800	180	150	100 - 300
Mercure (Hg)	-	-	-	10	2	2	0,8 - 3
Arsenic (As)	14	17	12		18	60	20 - 45
Sélénium (Se)	2	2	2		12		

* L'harmonisation 2003/2003 est un projet de réforme réglementaire pour ajouter au règlement 2003/2003 sur les engrais minéraux : des nouveaux produits organiques (engrais, amendements, supports de culture) ; des nouveaux produits minéraux (cendres, amendements sidérurgique). Cette harmonisation permettra d'avoir une même réglementation transfrontalière et européenne sur les cendres et autres co-produits valorisables en agriculture. Elle devrait se mettre en place à minima en 2017-2020.

dans le sol, mais aussi d'éléments plus indésirables quand ils sont en quantité trop importante (plomb, arsenic, cadmium...),

- les ETM proviennent également des produits de traitement du bois, des revêtements de surface et des matériaux contenus ou supportés par les emballages en bois ; on les retrouve par conséquent dans certains broyats de bois en fin de vie ;

- les composés traces organiques (CTO) : compte tenu du mode d'obtention par combustion, les teneurs en CTO sont en général faibles dans les cendres ;

- les macroéléments indésirables, dont la teneur peut varier dans de fortes proportions : mâchefers (cendres fondues), éléments métalliques (clous, agrafes...), éléments minéraux (terre, sable...) ; la fraction supérieure à 4 mm pouvant provoquer des désordres sur les équipements d'épandage (épandeurs à chaux notamment), un conditionnement (broyage,

Éléments traces métalliques dans les cendres sous foyer de chaufferies collectives au bois (données Ceden).

(source Ceden)

Synthèse des principaux effets recherchés des cendres de biomasse.

(source Ceden)

criblage) sera, le cas échéant, nécessaire avant une valorisation en agriculture pour améliorer la qualité physique des cendres ; l'impact agronomique de ces indésirables dans les parcelles agricoles est en revanche limité, en particulier pour ce qui concerne les morceaux de bois et les cailloux. Globalement, **les cendres de biomasse récupérées sous l'équipement de com-**

bustion sont principalement composées de chaux (10 à 30%) et de silice (5 à 60%). Elles ont un pH toujours nettement basique (autour de 12) et une valeur neutralisante d'environ 50%, c'est-à-dire qu'une tonne de cendres à le même pouvoir neutralisant qu'une tonne de carbonate de calcium (CaCO₃) ou 500 kg de chaux (CaO). Elles contiennent des

Effets recherchés	Applications
Caractère fertilisant (P, K, MgO...)	Retour au sol (agriculture et forêt)
Caractère neutralisant / stabilisant	Retour au sol (agriculture et forêt) Traitement de déchets Traitement de sol
Rigidité pour les végétaux (silice)	Retour au sol (agriculture et forêt)
Caractère pouzzolanique	Incorporation dans les ciments, bétons
Remplissage / charge (porosité, granulométrie, densité) (filler)	Correcteur granulométrique dans les bétons et mortiers Céramiques, plastiques... Comblement / aménagement de mines, carrières, décharges
Apport de fondants alcalins, coloration	Céramiques



Éléments traces métalliques et radioactivité des cendres de bois

Éléments traces métalliques (ETM)

Le professeur André PICOT, expert européen en toxicologie, rappelle dans un article que les métaux, qui occupent une place prépondérante dans la vie moderne, *"sont pour beaucoup d'entre eux indispensables au monde vivant (fer, zinc...), parfois en très faible quantité (oligo-éléments essentiels). Certains de ces oligo-éléments (chrome, nickel, manganèse...), indispensables à petite dose, deviennent toxiques à forte concentration."*

Trois métaux sont uniquement toxiques pour les organismes vivants : le mercure, le cadmium et le plomb. Ils n'ont aucune activité biologique bénéfique, au contraire d'autres métaux comme le chrome et le nickel, qui à faible dose, sont indispensables à la vie.

Les éléments suivants proviennent de l'exploitation des résultats de 150 analyses de cendres sous foyer et multicycloniques sur la période 2003-2014 (source CEDEN).

- Les ETM toxiques : mercure, cadmium, plomb

Il convient de noter que le mercure est absent de la composition des cendres sous foyer et que les teneurs en cadmium et en plomb des cendres baissent progressivement au fil des ans.

De 2010 à 2014, la teneur en cadmium se situe aux alentours de 4 mg/kg MS, mais les écarts demeurent importants en variant de 0 jusqu'à 8 mg/kg MS. Lorsqu'il est ingéré, 5% seulement sont retenus par le corps.

Sur la même période, la teneur moyenne en plomb s'est élevée à 178 mg/kg MS, avec une valeur maximale de l'ordre de 750 mg/kg MS. Le plomb est présent dans la croûte terrestre et est naturellement absorbé par la plante lors de sa croissance.

- Les oligo-éléments : chrome, nickel, cuivre, zinc

Depuis 2010, seul le cuivre présente une tendance à l'augmentation. Pour les trois autres ETM, une baisse progressive est constatée, touchant notamment le zinc.

Dans les cendres, le chrome se présente sous une forme très peu toxique (Cr III). Cet oligo-élément, présent dans les haricots verts, les céréales..., est essentiel à la santé humaine. De 2010 à 2014, la teneur en chrome dans les cendres se situe aux alentours de 134 mg/kg MS. Le chrome est un constituant de la grille des chaudières à bois, dont l'usure suscite très probablement l'enrichissement des cendres sous foyer.

L'utilisation du nickel prédomine dans deux secteurs d'activité : la transformation de l'énergie (raffinage et production d'électricité) et l'industrie manufacturière (métallurgie, où il est utilisé dans les alliages). Le nickel contenu dans les cendres provient probablement de l'acier constitutif de la grille de la chaudière. Les teneurs en nickel s'élèvent à 37 mg/kg MS sur la période 2010-2014.

Le cuivre est présent naturellement dans la biomasse végétale, cet élément jouant un rôle essentiel en tant qu'activateur et composant d'enzymes d'oxydation. Antérieurement, le cuivre était utilisé dans les produits de traitement antibactériens des palettes, cette utilisation étant désormais interdite pour le transport des produits alimentaires entre pays européens. De 2010 à 2014, la teneur moyenne est 438 mg/kg MS.

Historiquement utilisé dans les alliages (avec le cuivre notamment), le zinc est employé pour la protection des aciers par galvanisation. Il n'en constitue pas moins un oligoélément essentiel à la santé humaine. La teneur moyenne sur 2010-2014 s'élève à 666 mg/kg MS.

Radioactivité

Les traces de radioactivité, notamment due au potassium 40, que l'on peut déceler dans les cendres de bois appartiennent à la famille de la "radioactivité naturelle" (concentrée à l'occasion de la combustion) qui entoure notre univers depuis sa création et non à la "radioactivité artificielle" de l'industrie nucléaire ou de la médecine.

Les événements relatifs à une activité radiologique des cendres de combustion de bois se limitent à des alarmes sur des portiques de détection à l'entrée des installations de stockage de déchets où elles sont accueillies. Ces événements apparaissent comme relativement limités en nombre.

Lors de ces événements, des procédures extrêmement précises et rigoureuses sont appliquées. Le CIBE n'a connaissance d'aucune situation ayant entraîné, pour des cendres de combustion de bois, un traitement spécifique sortant des procédures types définies par la réglementation, ni d'aucun empêchement d'accueillir ces cendres dans une installation de stockage de déchets.

Les investigations menées régulièrement par les autorités habilitées compétentes notamment en matière de sûreté nucléaire permettent de conclure que l'activité radiologique des cendres est toujours apparue négligeable et qu'à l'occasion de ces événements elle n'a pas été reconnue dangereuse pour la santé des personnes ni pour l'environnement.

éléments fertilisants nécessaires aux cultures mais leur teneur en azote est quasi nulle, cet élément étant volatilisé durant la combustion. Lorsque cette dernière n'est pas complète (plutôt dans les petites installations) les cendres comprennent des **imbrûlés correspondant au carbone organique total (COT)**, en général

dans des proportions inférieures à 5-10% de la matière sèche, mais avec une grande variabilité (entre 0 et 30%). Enfin, les cendres contiennent également des ETM ou "métaux lourds" potentiellement polluants. Les acteurs de la filière font massivement le constat que **les cendres volantes sont plus concentrées en ETM et en chlorures**

que les cendres sous équipement de combustion. Pour cette raison, elles sont plus difficilement valorisables, leur retour au sol étant même interdit dans la plupart des pays européens. Toutefois, une nuance doit être apportée : les cendres volantes issues de lits fluidisés, majoritaires dans ces équipements, sont en général



beaucoup moins concentrées en éléments polluants du fait d'une "meilleure" répartition de ceux-ci entre les divers types de cendres. La composition des cendres volantes est globalement assez proche de celle des cendres sous foyer sur le plan des éléments fertilisants ou neutralisants : phosphore, magnésie, potasse, chaux. Malgré les nombreux programmes et études qui ont porté sur la caractérisation des cendres, force est de constater qu'il reste encore des paramètres et des aspects à approfondir.

Pour compléter les données existantes, de nouvelles études seraient nécessaires. Tout d'abord, pour être interprétable, chaque résultat d'analyse devrait être accompagné d'informations permettant de qualifier à minima le type de cendres, mais également les types de combustible et d'équipement. Or, ces informations sont partielles : cendres sous foyer, cendres multicycloniques, mélange des deux précédentes catégories, cendres volantes, mélanges de toutes les cendres..., bien souvent sans précision sur le combustible. Il pourrait être pertinent de dresser une **typologie simple des cendres admise par tous et indiquant un minimum d'informations, qui permettrait de comparer et compléter l'interprétation des analyses.**

Il conviendrait en outre **d'affiner les connaissances** portant sur l'extraction du phosphore (P citrique, un acide organique plus représentatif que le phosphore soluble dans le citrate neutre), la disponibilité des éléments pour les cultures, l'incidence de l'extraction par voie humide sur la qualité des cendres (extinction de la chaux vive, carbonatation...), le comportement à la lixiviation des cendres récupérées sous le foyer (pour des applications en génie civil, bâtiment et travaux publics, industrie, valorisation matière), les formes de la chaux (CaO , Ca(OH)_2 , CaCO_3), le carbone organique total / imbrûlés...

Flux de cendres de bois actuels et à venir

Les quantités de biomasse consommées dans les chaufferies collectives et industrielles françaises s'élèvent aujourd'hui approximativement à 2,5 Mtep/an. De l'ordre de 10 Mt/an sont ainsi valorisés sous forme énergétique à l'échelle de l'Hexagone. **La production actuelle de cendres est estimée à 200.000 t/an** (cendres humides à 75% de matière sèche), sur la base de 2% des flux entrant en chaufferies et exclusion faite des fines de dépoussiérage.

La profession estime que **70% du flux actuel sont valorisés en agriculture** (ou, marginalement, en forêt), soit 140.000 t/an. Une part relativement élevée des cendres ne suit donc pas cette filière en raison :

- des **difficultés rencontrées dans certaines régions** (d'ordre réglementaire notamment) et des **délais de mise en place d'un plan d'épandage** (pour les installations les plus récentes) ;
 - des **contraintes** auxquelles sont confrontées les **chaufferies de moins de 2 MW**, le règlement sanitaire départemental exigeant en effet que les cendres soient normalisées ou bénéficient d'une autorisation de mise sur le marché pour être valorisées en agriculture (un plan d'épandage peut néanmoins être mis en place à titre dérogatoire, mais la démarche reste complexe au regard des flux en jeu).
- Les débouchés autres que la valorisation agronomique étant négligeables, environ **30% des cendres produites en France rejoignent les centres de stockage de déchets non dangereux**, alors que leurs caractéristiques physico-chimiques répondent aux critères réglementaires de qualité les rendant susceptibles d'être valorisés par retour au sol.

En 2023, la production de cendres devrait être de 450.000 t si les objectifs

✓ ZOOM

Enfouissement des cendres de bois

L'enfouissement de cendres de biomasse en installation de stockage de déchets inertes (ISDI) est interdit au regard de la liste qui fixe les déchets acceptés dans ces installations. Par ailleurs, les cendres, sous foyer ou volantes, ne respectent bien souvent pas les seuils de comportement à lixiviation précisés dans l'arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux déchets inertes.

Les cendres de biomasse, sous foyer ou volantes, sont des déchets non dangereux et peuvent donc être stockées dans une installation de stockage de tels déchets (ISDND).

Compte tenu de leurs caractéristiques et au regard notamment des tests de lixiviation, les cendres sous foyer sont plutôt évacuées en ISDND et les cendres volantes en installation de stockage de déchets dangereux (ISDD) même si elles n'en sont pas au sens de la nomenclature sur les déchets. Dès lors, elles doivent respecter les seuils de lixiviation imposés aux déchets dangereux (arrêté du 30 décembre 2002) ; dans le cas contraire, elles doivent subir une stabilisation préalable, qui renchérit très sensiblement le coût de traitement.

définis dans le cadre de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) sont atteints. Cette forte augmentation des flux représente un **véritable défi en matière d'écoulement des cendres**. En conséquence, les enjeux du retour au sol des cendres doivent être évalués non seulement au regard des flux actuels, mais en prenant également en considération les perspectives de développement du bois-énergie en France.

Valorisation agronomique des cendres de bois

Les cendres présentent le double intérêt de disposer, d'une part, d'une **valeur neutralisante pour le sol** grâce à leurs teneurs en chaux (CaO, 150-180 kg/t), potasse (K₂O, 40 kg/t) et magnésie (MgO, 20 kg/t) et, d'autre part, d'une **valeur fertilisante pour la plante** grâce aux deux derniers éléments précités et au phosphore (P₂O₅, 15 kg/t). Elles contiennent toutefois des éléments traces métalliques (plomb, zinc, nickel, cadmium...) mais dans des proportions raisonnables (de l'ordre de celles des lisiers de porc et boues de stations d'épuration couramment épandus sur les sols agricoles) et qui en outre semblent diminuer en moyenne au

fil des ans, du fait d'une **amélioration continue de la qualité des cendres**. Le retour au sol, pleinement justifié et parfaitement légitime, semble la solution de valorisation des cendres la plus pertinente sur les plans économique et environnemental, des freins réglementaires restant toutefois à lever et des optimisations techniques à apporter.

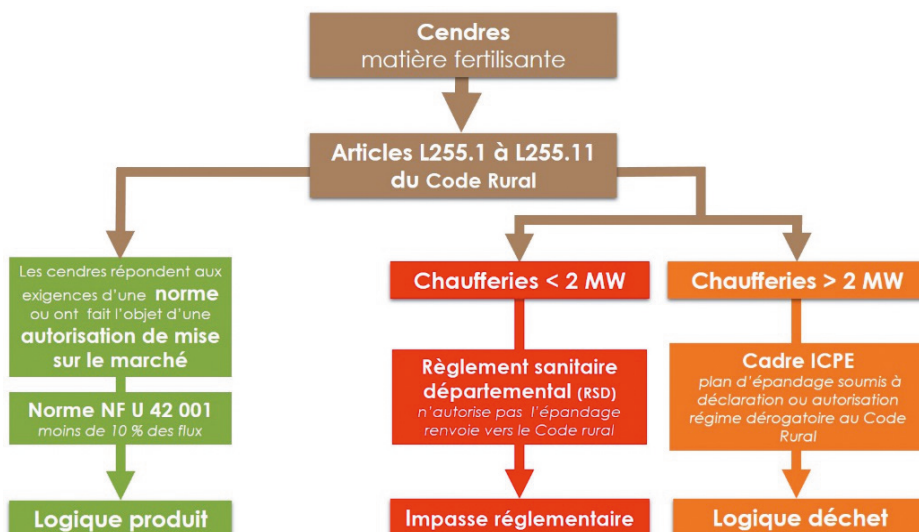
Un cadre réglementaire contraignant

La valorisation agronomique des cendres est encadrée par le Code rural, qui définit deux voies possibles :

Cadre réglementaire de la valorisation agronomique des cendres de bois.

(source : CEDEN)

- la logique "produit", les cendres étant alors considérées comme un engrais ou un amendement : leur mise sur le marché est possible si elles sont homologuées ou répondent à une norme rendue d'application obligatoire ; la norme NFU 42-001 (engrais) est la seule envisageable pour les cendres mais leur composition, notamment la faible teneur en azote, ne permet bien souvent pas d'atteindre les seuils requis (moins de 10% des flux sont potentiellement concernés) ; il est à noter que, depuis 2010, les cendres font partie de la liste négative de la norme NFU 44-051 (amendements organiques) et que, de ce fait, le mélange résultant de leur





✓ ZOOM

Les professionnels et l'Administration interprètent différemment les textes législatifs

Suite aux interrogations exprimées par les exploitants et l'Administration au sujet des arrêtés ministériels d'août et septembre 2013 applicables aux installations de combustion (rubrique 2910 des ICPE), le ministère de l'Environnement a publié, en avril 2015, un ensemble de neuf fiches techniques destinées à apporter des réponses et des précisions, dont une spécifiquement relative à l'épandage des cendres issues de la combustion de la biomasse.

Telle qu'elle est rédigée, cette fiche limite les possibilités d'épandage aux seules cendres sous foyer. Elle affirme également que la possibilité d'épandage d'un mélange de cendres sous foyer et de cendres multicycloniques dépend, en tout état de cause, des résultats d'analyse chimique des éléments individuels qui le composent. Dans un cas comme dans l'autre, la fiche technique restreint les possibilités de valorisation matière des cendres produites telles qu'elles ont été autorisées par les arrêtés ministériels. En juillet 2016, le CIBE, SER FBE et la Fedene ont réalisé et communiqué au ministère un rapport technique qui montre l'innocuité des cendres sous foyer et multicycloniques en mélange, met en avant les raisons techniques empêchant la collecte différenciée de ces deux types de cendres et présente les conséquences de l'interdiction du mélange des cendres sur l'avenir de la filière biomasse.

Les organisations professionnelles soutiennent ainsi les positions suivantes :

- la notion d'"équipement de combustion" doit être entendue comme tout équipement intégré à une installation dans laquelle des produits combustibles sont oxydés en vue d'utiliser la chaleur ainsi produite et non seulement la chaudière ou le foyer ; tel est le cas du multicyclone ; ainsi, les cendres récupérées sous l'équipement de combustion sont constituées du regroupement de tous les flux de cendres provenant de ces différents éléments ;

- la valorisation de déchets non dangereux (boues de station d'épuration notamment) issus d'une même installation (regroupés) est déjà autorisée par l'Administration sur la base d'analyses de leur regroupement ; dès lors, par similarité, lorsque les différentes cendres proviennent d'une même installation de combustion de biomasse, l'autorisation de valorisation par épandage ne peut être déterminée que par les résultats des analyses chimiques du regroupement de ces cendres.

Les discussions sont toujours en cours avec le Ministère et une campagne d'analyses soutenue par l'Ademe devrait être lancée pour apporter les éléments complémentaires à une clarification de la réglementation et des fiches d'interprétation.

association à du compost normé est déclassé en déchet ;

- la logique "déchet" :

- chaufferies ICPE (1) (rubrique 2910) : le retour au sol s'effectue dans le cadre d'un plan d'épandage lié à l'installation de combustion et soumis au régime de celle-ci (déclaration, enregistrement ou autorisation) ; **une interprétation restrictive de la réglementation par l'Administration** (qui assimile "cendres

sous équipement de combustion" à "cendres sous foyer", cf. encart) rend en pratique impossible l'épandage **pour les installations existantes**, les cendres sous foyer et sous multicyclone étant aujourd'hui très largement collectées ensemble,

- autres chaufferies (soumises au règlement sanitaire départemental) : il y a interdiction d'épandage, ce qui constitue une **impasse réglementaire**.

La filière bois-énergie s'efforce actuellement de démontrer aux pouvoirs publics l'importance du retour au sol des cendres afin que les freins soient levés.

Le regroupement des cendres, une dynamique pertinente

En dehors de toute démarche d'homologation, les cendres sont considérées comme des déchets : leur retour au sol doit s'inscrire dans un plan d'épandage.

Ceci est relativement simple pour une unité de forte puissance (ICPE 2910 autorisée) car le tonnage de cendres est suffisant pour rendre pertinent, d'un point de vue technique et économique, la mise en place d'un tel plan, dont le cadre réglementaire est clair (même si l'écoulement des cendres produites tout au long de l'année doit s'adapter aux périodes d'épandage agricole).

En revanche, pour une unité de plus petite taille, le tonnage en jeu demeure faible et retire de fait l'intérêt de mettre en place un plan d'épandage rattaché à la chaufferie. Le gestionnaire des cendres peut alors envisager soit l'enfouissement (coût économique et non pertinence au regard de l'intérêt agronomique des cendres), soit la **mutualisation des moyens, toutefois associée à des démarches réglementaires plus lourdes** (cadre dérogatoire nécessitant des échanges avec l'Administration puis une acceptation, de la part de cette dernière, de la démarche envisagée) :

- **modification d'un plan d'épandage existant** en vue d'intégrer les cendres dans les intrants ;

- **création d'une plateforme de regroupement et de transit des cendres** (ICPE 2716) ; les lots de cendres, tracés et analysés, peuvent alors être épandus dans le cadre du ou des plans d'épandage portés par la plateforme, tout en respectant la capacité maximale autorisée sur le site suivant qu'il est en déclaration ou autorisation ;

- **incorporation des cendres dans un compost avant épandage en mélange dans le cadre d'un plan porté par une plateforme de compostage** (ICPE 2780, sous-rubrique 1, 2 ou 3) ; le code déchet des cendres de biomasse doit figurer parmi les intrants valorisables sur le site ; ce dernier peut alors utiliser les cendres dès lors qu'est acquise leur conformité en matière de teneur en polluants (éléments traces métalliques...) et que sont respectées les quantités permises de regroupement et de mise en compost, variables selon la sous rubrique et le régime administratif (déclaration ou autorisation) du site.

Les plateformes ICPE 2716 ou 2780 permettent de valoriser des cendres de chaufferies biomasse ICPE (à partir de 2 MW PCI) ou hors ICPE (inférieures à 2 MW PCI), ne portant pas en propre un plan d'épandage. La provenance de plusieurs sites impose une maîtrise en matière d'identification et traçabilité des lots de cendres. L'agréateur doit donc être bien outillé au niveau informatique et archivage pour traiter ce point.

Dans les deux cas, la validation de l'Administration est nécessaire à la mise en œuvre de la dynamique, puisqu'il s'agit d'une adaptation, dérogation ou transposition réglementaire, non automatique et sujette à interprétation dans un contexte de vide ou flou réglementaire, avec donc des positions et sensibilités qui peuvent varier d'une région à l'autre.

Le plan d'épandage, une opération très encadrée

Le régime du plan d'épandage (déclaration ou autorisation) et les textes réglementaires encadrant le retour au sol dépendent du statut réglementaire du dernier site (avant retour au sol) de stockage des cendres (unité de production ou plateforme de regroupement). D'une manière générale, les éléments

suivants peuvent toutefois être précisés. **L'épandage est subordonné à une étude préalable**, comprise dans l'étude d'impact, démontrant :

- l'innocuité (dans les conditions d'emploi) et l'intérêt agronomique des cendres (celles issues des chaufferies collectives au bois respectent très majoritairement les exigences de l'arrêté du 26 août 2013 et peuvent donc être épandues en agriculture) ;
- l'aptitude du sol à les recevoir ;
- le périmètre d'épandage et les modalités d'épandage.

L'étude justifie la compatibilité de l'épandage avec les contraintes environnementales recensées ou les documents de planification existants.

Le plan d'épandage implique également la réalisation, chaque année, de trois documents principaux mis à disposition des services de la préfecture et dont le contenu est précisé dans l'arrêté. Il s'agit :

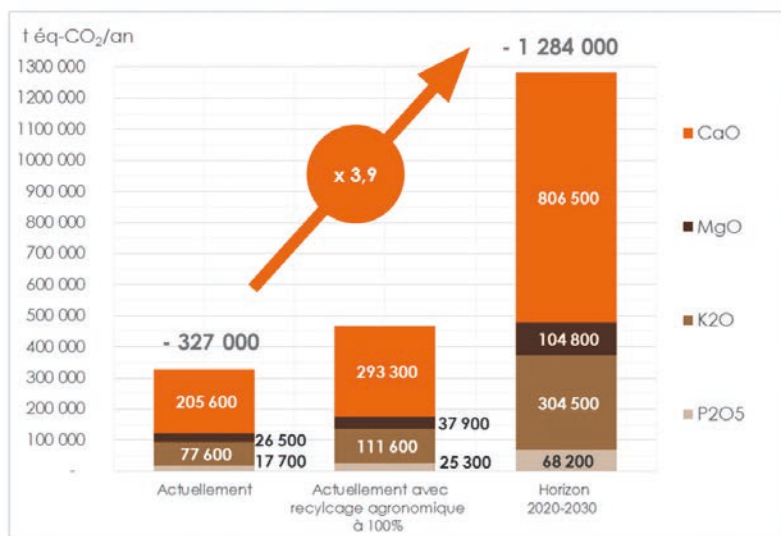
- d'un **programme prévisionnel annuel d'épandage**, qui doit être établi, en accord

avec l'exploitant agricole, au plus tard un mois avant le début des opérations, comportant :

- la liste des parcelles concernées par la campagne d'épandage,
- les quantités devant être épandues,
- les cultures concernées,
- les préconisations d'emploi ;
- d'un **cahier de réalisation des épandages**, conservé pendant une durée de dix ans et comportant :
 - les résultats des analyses réalisées sur les sols et les matières à épandre,
 - le bilan qualitatif et quantitatif des matières à épandre,
 - les cultures concernées ainsi que les quantités d'azote apportées toutes origines confondues,
 - le contexte météorologique de chaque épandage,
 - l'identification des personnes physiques ou morales chargées des opérations d'épandage ;
- d'un **bilan annuel**, transmis aux services de l'État (Dreal).

Emissions de CO₂ évitées par l'épandage de cendres en remplacement d'engrais agricoles.
(source : CEDEN)

Gaz à effets de serre (t éq-CO₂/an)





Le retour au sol des cendres, une solution gagnant-gagnant sur tous les plans

La valorisation agronomique des cendres présente des avantages pour de nombreux acteurs.

Tout d'abord, **le retour au sol des cendres évite aux exploitants de chaufferies (opérateurs énergétiques comme collectivités) de diriger la totalité des flux vers l'enfouissement**, ce qui renchérirait de 1% le coût de revient de la chaleur bois (ce n'est pas anodin quand la réussite de certains projets de chaufferies se joue parfois à moins de 5%).

Ensuite, **le recours aux cendres permet aux agriculteurs de limiter leur consommation d'engrais**, à hauteur de 50.000 t/an aujourd'hui (soit 9 M€/an) et 110.000 t/an demain (20 M€/an), l'épandage de 7 t/ha avec un passage tous les trois ans couvrant globalement les besoins du sol et des cultures.

Enfin, **la valorisation agronomique des cendres facilite l'atteinte des objectifs des politiques publiques :**

- la moindre consommation d'engrais conventionnels **évitera l'émission de**

près de 1,3 MtCO₂/an en 2020-2030 qui aurait résulté de leur synthèse ;

- **l'enfouissement de 450.000 t/an de cendres représenterait 5% du volume maximum de déchets annuellement dirigés vers les centres de stockage** (la loi de transition énergétique a pour objectif la division par deux des quantités enfouies soit 8,5 Mt/an à terme).

Toutefois, **la réalité de ces multiples bénéfices requiert la mise en place d'un cadre réglementaire adapté** (cf. encart sur l'interprétation des textes législatifs) résultant d'une **vision pragmatique de la gestion de la problématique du retour au sol des cendres**, comme dans la plupart des pays européens (Autriche, Finlande...).

Il est en outre nécessaire de conforter la **professionnalisation / structuration de la valorisation agronomique**. Cette filière de recyclage est actuellement la plus robuste et la plus applicable massivement aux cendres, disposant ainsi d'un véritable potentiel industriel. En l'absence de concurrence actuellement et dans l'attente de nouveaux débouchés, cette filière doit être consolidée car, outre son intérêt agronomique et environnemental,

elle participe à la réduction des coûts de la filière bois-énergie dans son ensemble. A ce titre, plusieurs suggestions peuvent être faites :

- **optimisation de la qualité des cendres** par amélioration, d'une part, de l'approvisionnement en combustible des chaufferies bois et, d'autre part, de la connaissance sur les post-traitements des cendres et sur la complémentarité avec d'autres sous-produits (digestats, boues...);
- **évolution du cadre normatif** qui, s'il autorise théoriquement la normalisation des cendres de biomasse (NFU 42-001), ne la permet pas (ou très peu) dans les faits ;
- **facilitation de l'autorisation de mise sur le marché (AMM)** en permettant des démarches collectives (sur le modèle proposé pour les digestats) ou **mise en place d'une certification qualité** (comme pour les composts d'ordures ménagères par exemple).

(1) ICPE : installations classées pour la protection de l'environnement.

Valorisations alternatives des cendres de bois

En France, les débouchés des cendres de biomasse sont très majoritairement la valorisation agronomique et l'élimination en centre de stockage de déchets. Les alternatives à ces exutoires sont marginales et principalement au stade de la recherche et développement : certaines

pistes semblent plus prometteuses (retour au sol en forêt, utilisation en techniques routières, valorisation dans l'industrie de la céramique) alors que d'autres semblent sans avenir, excepté pour des gisements très spécifiques (bétons, cimenterie, plâsturgie, briquetterie).

Retour au sol en forêt

Les sols forestiers, tout comme les sols agricoles, doivent offrir un stock suffisant d'éléments nutritifs sous forme assimilable pour soutenir la croissance des arbres. S'il n'en est pas ainsi, la production

est alors limitée, quelle que soit l'essence forestière. Par ailleurs, les sols forestiers présentent généralement une acidité assez forte (pH entre 4 et 5,5).

L'utilisation des cendres sur les sols forestiers représente ainsi un double intérêt :

- le relèvement du pH du fait du caractère fortement basique des cendres lié à la présence de carbonates et oxydes de calcium, potassium et sodium ;

- la fertilisation en éléments minéraux principalement (K, Ca, Mg, oligo-éléments...).

Comme pour toute autre utilisation des cendres, la présence d'éléments indésirables ou polluants (éléments traces métalliques – ETM – notamment) doit faire l'objet d'une attention particulière et peut constituer le facteur limitant de cette valorisation. Ce point est d'autant plus important que les ETM sembleraient migrer plus facilement dans des sols acides (vers les eaux ou les végétaux),

ce qui induit actuellement d'assez fortes réserves à l'usage des cendres, malgré leur intérêt d'amendement basique, en deçà d'une certaine valeur de pH.

La problématique de retour des cendres au sol forestier peut aussi se justifier par la restitution au milieu d'éléments prélevés lors de la mobilisation d'une ressource destinée à la production d'énergie (menu bois ou rémanents forestiers par exemple). Il s'agit là d'options de gestion nécessitant une organisation et une logistique spécifiques.

Toutefois, alors que pour la valorisation agricole la réglementation a été très explicitement adaptée en 2013, celle concernant la valorisation forestière reste inadaptée.

Dans tous les cas, il s'agit donc avant tout d'assurer l'adéquation entre nature des sols et qualité des cendres, question pouvant s'avérer relativement complexe

✓ ZOOM

Normandie : Ferticendres, une étude pour le retour au sol forestier des cendres de bois

Biomasse Normandie, en partenariat avec Biocombustibles SAS, Bois Energie France, Rittmo et CEDEN, réalise actuellement une étude pour le compte de la Draaf Normandie visant à **démontrer la pertinence et l'innocuité du retour au sol forestier des cendres de bois**.

Ce projet répond à plusieurs des objectifs du plan national de la forêt et du bois (PNFB) :

- l'apport de matière fertilisante et notamment des éléments minéraux contenus dans les cendres permettra de rééquilibrer les sols forestiers et ainsi **d'améliorer la gestion forestière sur le long terme** et d'augmenter la production de bois, et par voie de conséquence sa mobilisation ;
- le retour au sol des cendres s'inscrit pleinement dans une logique **d'économie circulaire et d'optimisation des ressources, ce qui répond aux attentes des citoyens** et à l'objectif d'intégration des projets bois-énergie au sein des territoires ;
- le rétablissement de l'équilibre des sols forestiers participe à l'**atténuation et l'adaptation des forêts normandes au changement climatique** ;
- ce projet permet enfin de renforcer les synergies entre la forêt et les industries utilisatrices de bois-énergie et de conforter la filière bois-énergie dans son ensemble en apportant une optimisation économique à un poste de charge actuellement relativement conséquent.

En fonction des premières phases de l'étude, un investissement dans un matériel adapté aux sols forestiers pourra être réalisé. L'objectif à terme est d'aboutir à un **fonctionnement optimisé sur le territoire** et qu'en fonction de la localisation et des besoins des sols, **les cendres des chaufferies biomasse puissent être valorisées dans une logique d'économie circulaire pleinement aboutie**.

✓ ZOOM

Récolte des menus bois en forêt : potentiel, impact et remédiation par épandage de cendres

Dans le contexte d'intensification de la demande en bois-énergie, le projet Respire, financé par l'Ademe et mené par l'Inra de Nancy, l'ONF, l'université de Lorraine, l'université de Rouen et AgroParisTech, a pour objectifs :

- **d'étudier l'impact d'un prélèvement accru de biomasse** sur la matière organique du sol, la dynamique d'éléments nutritifs dans l'écosystème, la biodiversité du sol et les fonctions de cette diversité en lien avec la minéralisation de la matière organique ;
- **de tester l'hypothèse d'un effet de seuil** selon l'intensité de prélèvement, l'essence ou le contexte pédoclimatique pour être en mesure de proposer de potentiels indicateurs biologiques de risques et des limites à ne pas franchir si elles existent ;
- **d'étudier les mécanismes biophysiques de remédiation par les cendres** (impact sur les cycles des éléments majeurs et traces, dont les métaux lourds, impact sur la faune du sol) et dans quelle mesure ils permettent de restaurer les fonctions altérées par le prélèvement des rémanents ;
- **de renseigner les politiques publiques** en matière d'intensité de prélèvement et ensuite de remédiation par les cendres (forme d'épandage, impact sur l'environnement, faisabilité économique, acceptabilité par les gestionnaires et, plus généralement, la société).

du fait de la variabilité des caractéristiques de ces dernières. S'ajoute la question logistique qui peut présenter des spécificités pour les sols forestiers en termes d'accessibilité et de techniques utilisées.

Il apparaît qu'un certain nombre d'études et tests ont été réalisés jusqu'à présent mais sans qu'ils ne débouchent à ce jour sur des techniques et méthodes permettant un usage large et généralisé et de nature à susciter la définition d'un cadre réglementaire adapté.

Utilisation en techniques routières

Chaque année la construction et l'entretien des routes françaises nécessitent environ 200 millions de tonnes de granulats naturels. Les déchets minéraux générés par différents secteurs industriels constituent, potentiellement, un moyen



✓ ZOOM

Utilisation de cendres de bois en forêt dans quelques pays européens (1)

Dans le cadre d'une politique volontariste de production de biomasse énergie, Suède et Finlande développent depuis plusieurs années des systèmes de récolte d'arbres entiers, avec mesures compensatoires par recyclage de cendres, pour limiter ou réduire les effets sur la fertilité du sol de ces exportations totales. En pratique, ces deux pays encouragent ce recyclage avec des objectifs sensiblement différents :

- en Suède, l'utilisation des cendres sur les sols minéraux acides est vue comme une mesure de gestion cohérente dans deux contextes possibles : d'une part, comme amendement en restauration des sols acidifiés (en mélange possible avec de la dolomie) et, d'autre part, comme compensation dans les plantations avec exportation totale de la biomasse à la coupe finale ; dans les deux cas, l'objectif n'est pas d'accroître la productivité forestière mais de soutenir la fertilité du sol et donc sa capacité à fournir les différents services attendus (production, biodiversité...) ;
- en Finlande, les épandages de cendres sont majoritairement réalisés sur tourbières drainées riches en azote ; dans ces contextes stationnels, un apport de cendres ne fait pas que compenser mais permet d'accroître la productivité forestière (tout en améliorant l'état de santé des peuplements).

L'Allemagne constitue un autre modèle pour l'utilisation en forêt des cendres de bois. Le système de certification FSC autorise les amendements calco-magnésiens dans un but de remédiation à l'acidification des écosystèmes forestiers. Cette pratique est faite à large échelle depuis le milieu des années 1980. Depuis peu, le recyclage des cendres de bois (sous foyers uniquement) fait l'objet d'un intérêt pour compléter les amendements calco-magnésiens classiques (dolomie) notamment en potassium et dans une moindre mesure en phosphore.

En lien avec la production de biomasse énergie, les cendres pourraient aussi être recyclées comme matière entrant dans la composition de fertilisant potentiel sur des systèmes de cultures dédiées ou semi-dédiées biomasse. Un tel type d'usage fait l'objet de R&D, par exemple en Espagne. Ces différents contextes identifiés montrent que **l'intérêt du recyclage des cendres en forêt ne se résume pas qu'à une solution potentielle de "compensation" aux prélèvements accrus d'éléments nutritifs liés aux récoltes de rémanents.**

(1) Extrait du rapport "Landmann G., Nivet, C. (coord.) 2014. Projet Resobia. Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité. Angers : Ademe, Paris : ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt - GIP Ecofor. Rapport final, 243 p."

de préserver les ressources naturelles en offrant un gisement intéressant pour l'élaboration de matériaux alternatifs routiers.

La valorisation des cendres de bois en techniques routières, visant donc à substituer celles-ci aux matériaux usuels, doit assurer les mêmes performances par rapport à ces derniers et garantir une conformité en matière d'impacts sur l'environnement, particulièrement sur les nappes phréatiques.

Les usages potentiels sont multiples et classés en trois catégories :

- remblai ou couche de forme en zone revêtue ;
- remblai en zone végétalisée ;
- remblai en zone non revêtue, couche de roulement, piste...

En ce qui concerne les performances

géotechniques, il doit être procédé à une caractérisation mécanique et chimique des cendres à travers des tests spécifiques selon les classifications, modes opératoires et normes utilisés dans la profession : granulométrie, résistance mécanique (pour un usage en couche de forme), certains éléments chimiques..., avec comme paramètres généraux considérés comme significatifs le taux d'imbrûlés et d'éléments solubles, la qualité du défeurage, du criblage et de l'homogénéisation, la présence ou non de cendres volantes de combustion, la durabilité (comportement au gel / dégel, stabilité volumique).

La nature des impacts environnementaux doit être précisée et la conformité vérifiée au regard de limites admissibles à travers des tests de lixiviation, de percolation et d'études spécifiques si nécessaire (selon

les méthodes applicables au matériau routier usuel), en fonction de la nature des cendres et de l'usage envisagé.

L'ensemble des procédures applicables est regroupé dans un guide méthodologique édité par le Cerema, assorti de guides d'application selon le matériau alternatif concerné. Toutefois, pour les cendres, le guide d'application n'existe pas à ce jour, ce qui explique que cette filière de valorisation n'est pas encore largement développée.

Valorisation dans l'industrie de la céramique

La valorisation des cendres dans l'industrie semble rester pour l'instant encore très marginale et cantonnée essentiellement à la céramique artisanale. Les cendres sont incorporées dans la matière première à laquelle elles confèrent certaines propriétés permettant d'obtenir une diversité de couleurs et motifs dans le produit fini. Leurs caractéristiques influant sur le résultat, leur utilisation ne peut être envisagée qu'à l'issue d'analyses et d'essais pour en valider leur conformité par rapport aux objectifs recherchés.

Aucun encadrement ne semble exister pour l'instant de ces usages, mais les impacts de ces pratiques sur le plan environnemental sont faibles dans la mesure où il y a fusion (vitrification) des cendres, ce qui permet de considérer que les éléments polluants potentiels sont ainsi stabilisés.

Pour les autres applications, notamment dans le secteur de la céramique industrielle traditionnelle, une étude ("Cérecendres") a été lancée en 2011, cofinancée par l'Ademe et coordonnée par la Société française de céramique (SFC), association technique dont l'objet est le soutien aux industriels français de la céramique, en termes de représentation, de développement et également d'appui technique. Les conclusions en sont tou-

tefois confidentielles et aucun élément issu de cette étude ou d'autres sources ne permet de dresser un état des lieux de cette filière, de ses exigences et de l'opportunité qu'elle représente pour la filière bois-énergie.

Un nécessaire soutien aux alternatives les plus prometteuses

Les nombreuses initiatives pour trouver des alternatives à la valorisation agromonomique, pour tous types d'applications (génie civil, bâtiment, techniques routières, comblement / aménagement, valorisation matière, industrie, traitement de déchets...), se sont soldées par des **résultats insuffisamment convaincants** (voire des échecs) et n'ont pas ou très peu abouti à des développements industriels, excepté pour certains marchés de niches ou pour des gisements de cendres spécifiques et/ou produits par une installation. Ce constat s'explique par des freins techniques principalement mais également dans

certains cas par un cadre réglementaire ou normatif peu favorable.

On constate aujourd'hui que **les différents modes de valorisation des cendres, en dehors du retour au sol, présentent des limites qui freinent leur développement** :

- caractère diffus du gisement, hors gros industriels (papeteries) et installations de cogénération dans le cadre des appels à projet biomasse ;
- forte variabilité des cendres ;
- facteurs limitant selon les applications : chaux vive, chlorures, carbone organique total (imbrûlés), métaux, granulométrie, taux d'humidité/pulvérulence, concrétions (mâchefers) ;
- difficulté plus grande pour valoriser les cendres volantes, plus chargées en métaux lourds ;
- réglementation peu adaptée aux cendres de biomasse ;
- coûts d'enfouissement relativement faibles (en moyenne 80-100 €/t en France) qui n'incitent pas à développer d'autres modes de valorisation ;

- retour d'expérience insuffisamment partagé en Europe ;

- production de cendres exponentielle ces dernières années avec le développement de la biomasse énergie, et des producteurs "pris de court" pour trouver des solutions adaptées et économiques.

Il apparaît nécessaire, à terme, de disposer d'alternatives au retour au sol pour assurer le maximum de recyclage, en cas de difficulté provisoire ou durable sur la filière agronomique, et donc de soutenir les démarches les plus prometteuses.

Plusieurs pistes peuvent être suggérées :

- **faire des arbitrages et fixer des priorités pour gagner en efficacité** : les pouvoirs publics pourraient recentrer les travaux sur des filières qui présentent a priori un potentiel "industriel", comme le recyclage en forêt, l'industrie de la céramique, les techniques routières ;

- **travailler sur les post-traitements**, condition nécessaire pour répondre aux exigences des débouchés ; contrairement au retour au sol où les traitements nécessaires avant épandage sont relativement simples et pour lesquels il existe des retours d'expérience (broyage, criblage et déferailage principalement), les débouchés alternatifs sont pénalisés par des contraintes de préparation plus fortes et moins éprouvées ; la meilleure connaissance de ces traitements est donc une condition sine qua non pour développer les voies de recyclage alternatives (extinction de la chaux vive, élimination / valorisation de la matière organique "imbrûlée", extraction d'éléments traces métalliques...) ;

- **faire évoluer le cadre réglementaire pour l'adapter aux cendres de bois** : pour la plupart des applications autres que la valorisation agromonomique, les porteurs de projets s'appuient sur des réglementations "par défaut" ou peu adaptées, concernant par exemple les cendres de charbon ou les mâchefers.



ZOOM

L'Ademe soutient des projets de R&D sur la valorisation des cendres

Ces dernières années, l'Ademe a soutenu trois projets de R&D en vue d'une diversification des débouchés des cendres de bois.

"**Céracendres**", porté par la Société française de céramique et retenu dans le cadre de l'appel à projets 2011, avait pour but d'étudier les conditions de **valorisation des cendres dans l'industrie céramique**. Celles-ci peuvent théoriquement être utilisées comme fondants auxiliaires (produit permettant d'abaisser la température de fusion) ou comme composés colorants. Il s'agissait donc d'une part d'élaborer un procédé de traitement optimal et industriellement applicable des cendres de bois pour en faire une réelle matière première (épuration magnétique, criblage des imbrûlés...) et d'autre part d'étudier son comportement dans une masse céramique tout au long du procédé de fabrication des céramiques. Une transposition à l'échelle industrielle a été mise en place fin 2014.

Retenu dans le cadre de l'appel à projets 2014 et porté par la Société française de céramique, Cylergie Cofely et Idex Services, "**Wacer**" consiste à étudier la substitution de matières premières conventionnelles entrant dans la composition des céramiques par les cendres sous foyer et cendres volantes issues de chaufferies bois à foyers à grilles mobiles (réalisation de formulations d'émaux originales visant à l'optimisation des cuissons sans détérioration des caractéristiques du produit fini).

Retenu lui aussi en 2014, le projet "**Valocendres**" s'inscrit dans le cadre d'une économie circulaire entre le domaine papetier producteur de cendres volantes de biomasse et le domaine du béton, grand consommateur de matériaux fins comme le ciment. Porté par Norske Skog Golbey, Heinrich et Bock, le Centre technique du papier, le Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton et Imerys Refractory Minerals Clérac, il a pour but de définir les conditions de prétraitement des cendres volantes de biomasse adaptées à une substitution de matières premières (additions minérales, ciment, filler) au sein du matériau béton.



Elaboration d'un schéma régional de valorisation des cendres des chaufferies collectives et industrielles au bois en Normandie

La hausse du nombre de chaufferies tant en milieu industriel que collectif, entraîne de fait une augmentation des tonnages de cendres. Les caractéristiques physico-chimiques de ces dernières leur confèrent des atouts pour un retour au sol aussi bien agricole que forestier. Toutefois, le cadre réglementaire de cette voie de valorisation peut être pénalisant et complexe, notamment pour les chaufferies de moyennes et petites puissances (moins de 20 MW).

Face à ce constat, la nécessité de mener une réflexion à l'échelle de la Normandie est apparue évidente, avec pour objectifs :

- la définition d'un schéma de gestion des cendres basé sur un retour au sol agricole sur l'ensemble de la région, tenant compte de l'évolution des tonnages à épandre à moyen terme et des solutions déjà en place (horizon 2018) ;
- une vision globale régionale permettant de faciliter, simplifier et homogénéiser l'instruction des dossiers de demande d'épandage par les autorités compétentes (qui demeure à ce jour libre d'interprétation locale) ;
- l'étude de l'intérêt technico-économique d'un retour au sol en forêt, par

l'intermédiaire d'une expérimentation réalisée sur trois parcelles.

L'épandage des cendres, valorisation majeure

La Normandie dispose d'un parc de chaufferies relativement important. On dénombre près de 300 unités en fonctionnement ou en construction dont 45 dans le secteur industriel et 247 dans le secteur collectif. Leur consommation de bois est estimée à 1.027.000 t/an (dont 72% en industrie) et la production associée de cendres sous foyer et multicycloniques est évaluée à 29.200 t/an.

L'approvisionnement en combustible des chaufferies collectives est majoritairement assuré par Biocombustibles SAS et Bois Energie France (filiale de Dalkia), qui leur fournissent plus de 247.000 t/an soit 85% des consommations. Ces deux sociétés livrent aussi des chaufferies industrielles pour un total d'environ 30.000 t/an. La gestion des cendres est intégrée dans les contrats d'approvisionnement des chaufferies ICPE 2910 (installations classées pour la protection de l'environnement). En revanche, pour les chaufferies soumises au règlement sanitaire départemental, le devenir des cendres est

rarement mentionné dans les contrats, bien que cela soit en cours d'évolution. Le cas échéant, la gestion est à la charge du maître d'ouvrage ou de l'exploitant.

Le recours à l'épandage est important pour les chaufferies collectives ICPE, qu'elles soient en déclaration ou en autorisation, et pour les chaufferies industrielles autorisées. Pour les chaufferies collectives, l'épandage est dans la majorité des cas précédé d'une étape de stockage sur une plateforme ICPE 2716. Cette procédure, initiée par Biocombustibles SAS, a permis de réduire l'impact économique de l'épandage pour les chaufferies de taille intermédiaire soumises au régime de la déclaration et d'optimiser la logistique entre le site de production et la zone de valorisation. Cette démarche demeure néanmoins complexe à mettre en œuvre. D'autres chaufferies voient leurs cendres orientées vers une plateforme ICPE 2780-3 afin d'être mélangées à du compost avant épandage.

Le recours à l'enfouissement concerne quant à lui un peu plus de 17% des tonnages de cendres des chaufferies collectives et une partie importante des quantités de cendres suit une filière non identifiée à ce jour (24% des tonnages



globaux, majoritairement issus des chaufferies industrielles et notamment celles implantées au sein des entreprises du bois).

Un maillage du territoire régional par des plateformes de stockage de cendres

Biocombustibles SAS dispose actuellement de quatre plateformes de stockage de cendres d'une capacité cumulée d'environ 2.700 t/an. Pour le reste, la société a recours à de l'épandage en direct depuis la chaufferie.

La société Bois énergie France s'appuie essentiellement sur l'enfouissement pour traiter ses cendres, soit en installation de stockage de déchets dangereux (ISDD) soit en installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND), l'orientation dépendant de la qualité des cendres (test de lixiviation) et de la localisation géogra-

phique. Pour certaines chaufferies toutefois, les cendres sont co-compostées avec des déchets verts.

Au regard de la situation de référence, il convient de trouver des solutions pour :

- les chaufferies dont les cendres sont envoyées en centre de stockage ;
- les chaufferies éloignées des plateformes de stockage ou de compostage de manière à optimiser le transport ;
- limiter le dépassement de la capacité réglementaire des plateformes de stockage existantes.

Pour renforcer le dispositif en place, Biocombustibles SAS et Bois énergie France ont choisi de **créer trois plateformes de stockage mutualisées** dont la capacité unitaire est envisagée de telle sorte que la superficie de chacun des plans d'épandage associés reste cohérente au regard des possibilités locales. La **mutualisation permet de générer des gains économiques conjoints** pour les deux

Production de cendres de bois en Normandie à l'horizon 2018 et implication de Biocombustibles SAS et Bois énergie France dans leur gestion.

(source Biomasse Normandie)

structures et d'anticiper les évolutions de tonnages à gérer, tout en pérennisant des solutions de traitement économiquement intéressantes. Ces plateformes pourraient, à terme, accueillir des cendres de petites chaufferies soumises au règlement sanitaire départemental. En effet, suite à des discussions avec la Dreal (notamment sur le respect de la traçabilité des cendres) et sous réserve de disposer d'une solution de collecte compétitive, ces cendres pourraient suivre les mêmes filières que les cendres issues d'une chaufferie ICPE.

Il est à noter qu'une **démarche de mise sur le marché** est également engagée par Biocombustibles SAS et Bois énergie France afin de s'affranchir des contraintes réglementaires tant pour l'épandage en forêt qu'agricole, tout en permettant un retour au sol.



Le **BOIS**
INTERNATIONAL

4 numéros par an
25 € seulement

Découvrez

Les Cahiers du bois-énergie*

Des synthèses techniques et économiques
sur le bois-énergie, publiées par Le Bois International.

** en collaboration avec le Cibe et l'Ademe.*

Éditions papier
et/ou numériques



Découvrez nos offres d'abonnements
sur **www.leboisinternational.com**
ou au **03 87 52 96 94**



14 rue Jacques Prévert - 69700 Givors
Tél. : 04 78 87 29 40 • Fax : 04 72 30 04 16



Les Rendez-vous de la Méca

publiés dans le Bois International.

Découvrez nos offres d'abonnements
sur www.leboisinternational.com

Dossiers thématiques sur la mécanisation forestière



Chaudières biomasse multicom bustibles **URBAS**

EUROBOIS EUREXPO LYON, FRANCE
6-9 FÉVRIER 2018 STAND 6 E 103

- Eau chaude ou vapeur
- Cogénération 1 à 30 MW el
- Unités de gazéification
- Sécheurs à bande
- Unités « clé en main »



© 2018 Andre Technologies - Tous droits réservés - andre@andre-technologies.com



Parc d'activités du Rosenmeer
F-67 560 Rosheim
Tél +33 (0)3 88 95 44 43
Fax +33 (0)3 88 47 65 09

www.andre-technologies.fr

ANDRE
TECHNOLOGIES