

Travail sur la valorisation des cendres :

Etude de mise en place d'une filière de valorisation des cendres
issues de la combustion de chaufferies plaquette bois, en Aveyron



Meric Manon : 2026

Table des matières

1 : Contexte et objectifs de l'étude	4
A) Contexte local	4
B) Enjeux et objectifs	4
2 : Etat des lieux des chaufferies du territoire aveyronnais	6
A) Recensement et typologie des chaufferies en fonctionnement	6
B) Synthèse de l'état des lieux	9
3 : Méthodologie et périmètre de l'étude	10
A) Les caractéristiques des chaufferies	10
B) Sélection des installations étudiées	10
4 : Analyses des cendres et caractérisation du gisement	13
A) Protocole d'échantillonnage et d'analyse	13
B) Résultats des analyses	14
C) Enseignements	15
5 : Cadre réglementaire applicable à la valorisation des cendres	17
A) Statut réglementaire des cendres	17
B) Conditions de la valorisation agricole	18
6 : Voies de valorisation des cendres	20
A) Valorisation agricole	20
B) Valorisation forestière	22
C) Valorisation en matériaux et BTP	23
D) Autres voies de valorisation	24
7 : Modalités opérationnelles de l'épandage agricole local	25
A) Conditions techniques et agronomiques	25
B) Organisation logistique	26
C) Organisation des acteurs et modèle économique	27
Étape 8 : Un possible schéma territorial aveyronnais ?	29
A) Organisation territoriale	29
B) Conditions de reproductibilité à l'échelle départementale	30
9 : Synthèse et perspectives	32
A) Conditions d'éligibilité des cendres	32
B) Perspectives	32

C) Conclusion générale	33
ANNEXES.....	34

Face au développement croissant des chaufferies biomasse sur le territoire aveyronnais, la question de la gestion et de la valorisation des cendres constitue un enjeu technique, réglementaire, économique et territorial. Les volumes générés, bien que diffus, représentent un gisement potentiellement valorisable localement.

Sur le plan réglementaire, les exploitants de chaufferies font face à un cadre parfois complexe et peu lisible, notamment en ce qui concerne les conditions de retour au sol, les obligations d'analyses, la distinction entre installations soumises ou non à la réglementation ICPE, et les responsabilités respectives des différents acteurs. L'absence d'information et d'un cadre partagé à l'échelle départementale constitue un frein à la valorisation locale des cendres.

Sur le plan économique et opérationnel, la gestion individuelle des cendres engendre des coûts et des contraintes logistiques non optimisés (stockage, transport, élimination), particulièrement pour les petites et moyennes chaufferies. Une organisation territoriale mutualisée ou non apparaît comme une solution pertinente pour réduire ces coûts et sécuriser les pratiques.

Sur le plan agronomique et environnemental, les cendres de biomasse, issues de combustibles non traités, présentent un potentiel de valorisation notamment en agriculture et en forêt. Cette valorisation s'inscrit dans une logique d'économie circulaire, contribuant au retour au sol de certains éléments minéraux et à la réduction des flux de déchets. De plus notre territoire est très rural et nous sommes à proximité directe avec le monde agricole et forestier qui facilitera la mise en place de plan d'épandage.

Dans ce contexte, la présente étude poursuit les objectifs suivants :

- Dresser un état des lieux des chaufferies présentes sur le territoire, et de leurs quantités de cendres.
- Identifier quelques chaufferies représentatives pour analyser leurs cendres
- Faire analyser les cendres et découvrir leurs compositions
- Clarifier le cadre réglementaire applicable à la valorisation des cendres
- Recenser les différentes voies de valorisation de cendre
- Identifier des modalités opérationnelles pour la mise en œuvre de plans d'épandage
- Proposer une fiche synthèse pratique pour les exploitants de chaufferie souhaitant valoriser leurs cendres.

L'étude vise ainsi à fournir aux exploitants, aux collectivités et aux acteurs agricoles un outil, facilitant la prise de décision et la mise en œuvre concrète de solutions de valorisation des cendres.

2 : Etat des lieux des chaufferies du territoire aveyronnais

A) Recensement et typologie des chaufferies en fonctionnement

Commune	Puiss. Bois kW	Conso. Bois tonnes	Cendres (2%)
AGUESSAC	150	0	
ALMONT LES JUNIES	200	73	1,46
ALRANCE	55	25	0,5
ARVIEU	50	20	0,4
ARVIEU	55	25	0,5
ARVIEU	80	22	0,44
ARVIEU	50	31	0,62
ARVIEU	130	50	1
AURIAC LAGAST	90	27	0,54
BARAQUEVILLE	200	118	2,36
BESSUEJOULS	55	25	0,5
BOZOULS	55	25	0,5
BOZOULS	55	25	0,5
BROMMAT	450	283	5,66
BROMMAT	55	46	0,92
CALMELS ET LE VIALA	55	25	0,5
CAMARES	55	25	0,5
CAMJAC	90	27	0,54
CANET DE SALARS	80	34	0,68
CASTANET	80	22	0,44
CASTELNAU PEGAYROLS	70	32	0,64
CLAIRVAUX D'AVEYRON	140	64	1,28
COMBRET	70	32	0,64
COMBRET	55	25	0,5
COMPREGNAC	55	42	0,84
DECAZEVILLE	3000	2857	57,14
DRUELLE BALSAC	100	70	1,4
ESPALION	100	27	0,54
ESPALION	800	1075	21,5
FLAGNAC	220	117	2,34
FLAVIN	40	12	0,24
FLAVIN	140	64	1,28
FLAVIN	450	152	3,04
FLAVIN	100	46	0,92
FLORENTIN LA CAPELLE	60	18	0,36
FONDAMENTE	150	0	0
GOLINHAC	140	67	1,34
GOLINHAC	90	15	0,3

GOLINHAC	90	27	0,54
GOLINHAC	50	23	0,46
GRAMOND	60	18	0,36
LA CAVALERIE	200	93	1,86
LA LOUBIERE	700	0	0
LACROIX BARREZ	55	25	0,5
LACROIX BARREZ	250	99	1,98
LAGUIOLE	60	18	0,36
LE NAYRAC	60	24	0,48
LE NAYRAC	50	20	0,4
LE VIBAL	55	25	0,5
LIVINHAC LE HAUT	80	22	0,44
LUGAN	100	40	0,8
LUNAC	55	25	0,5
MALEVILLE	55	25	0,5
MARNHAGUES ET LATOUR	80	22	0,44
MARNHAGUES ET LATOUR	100	46	0,92
MARTIEL	300	137	2,74
MARTRIN	70	32	0,64
MONTPEYROUX	90	25	0,5
MOURET	55	25	0,5
MUR DE BARREZ	50	20	0,4
MUR DE BARREZ	55	25	0,5
MUR DE BARREZ	150	68	1,36
NAUCELLE	300	137	2,74
ONET LE CHATEAU	800	900	18
ONET LE CHATEAU	1500	2200	44
ONET LE CHATEAU	1200	910	18,2
PEUX ET COUFFOULEUX	70	32	0,64
PRADES SALARS	45	27	0,54
PRUINES	70	42	0,84
QUINS	80	36	0,72
REQUISTA	430	118	2,36
RIEUPEYROUX	100	46	0,92
RIGNAC	55	25	0,5
RIGNAC	115	32	0,64
RODELLE	55	25	0,5
RODEZ	110	60	1,2
RODEZ	700	212	4,24
RODEZ	220	101	2,02
RODEZ	900	1371	27,42
SAINT AFFRIQUE	80	22	0,44
SAINT AFFRIQUE	3000	5000	100
SAINT ANDRE DE VEZINES	55	25	0,5
SAINT COME D'OLT	200	141	2,82
SAINT JEAN D'ALCAPIES	55	15	0,3

SAINT JUERY	55	25	0,5
SAINT LEONS	60	18	0,36
SAINT LAURENT	170	150	
SAINT ROME DE TARN	110	48	0,96
SAINT ROME DE TARN	55	25	0,5
SAINT SEVER DU MOUSTIER	55	25	0,5
SAINT SEVER DU MOUSTIER	100	27	0,54
SAINTE RADEGONDE	700	425	8,5
SALLES CURAN	90	27	0,54
SALLES LA SOURCE	55	25	0,5
SALLES LA SOURCE	90	27	0,54
SALLES LA SOURCE	80	30	0,6
SAUCLIERES	100	46	0,92
SAUCLIERES	70	46	0,92
SEBRAZAC	60	16	0,32
SEBRAZAC	50	20	0,4
SEBRAZAC	55	15	0,3
SENERGUES	100	46	0,92
TAUSSAC	55	25	0,5
THERONDELS	55	25	0,5
TOURNEMIRE	70	46	0,92
VILLEFRANCHE DE ROUERQUE	100	39	0,78
VIVIEZ	800	1449	
Total	23045	19030	380,6

B) Synthèse de l'état des lieux

Au 1er janvier 2026, les 105 chaufferies en fonctionnement recensées sur le territoire totalisent une puissance installée de 23 045 kW et consomment environ 19 030 tonnes de bois par an. Cette activité génère près de 380,6 tonnes de cendres, un volume non négligeable, d'autant plus que ces cendres ne font actuellement l'objet d'aucune valorisation. Toutefois on ne connaît pas la consommation de bois de 3 chaufferies et donc le tonnage de cendre également. D'après une observation on pourrait ajouter 20 tonnes de plus à notre résultat si on prenait en compte les chaufferies manquantes.

Ces installations, alimentées essentiellement en plaquettes bois, couvrent une large diversité d'usages comme énoncé précédemment. Les puissances unitaires des installations s'échelonnent de 40 kW à 3 000 kW, avec une majorité de petites et moyennes chaufferies, complétées par quelques réseaux de chaleur structurants concentrant une part significative des volumes de bois consommés et des cendres produites.

La répartition géographique de ces installations, combinée au volume annuel de cendres, met en évidence un potentiel pour la mise en place d'une valorisation des cendres locale, reposant sur le développement de partenariats de proximité, notamment avec le secteur agricole ou forestier.

3 : Méthodologie et périmètre de l'étude

A) Les caractéristiques des chaufferies

Dans une démarche de valorisation des cendres de chaufferies biomasse, une sélection restreinte de chaufferies pilotes doit être mobilisée afin de constituer un exemple de bonnes pratiques. Le choix des installations sur lesquelles réaliser la première campagne d'analyse est important.

Dans le cadre de cette étude nous avons fait le choix que les analyses de cendres devraient prioritairement porter sur des chaufferies de taille intermédiaire (pour notre département) à importante comprises entre 150 kW et 1 500 kW, disposant d'un combustible homogène et traçable, afin de constituer un référentiel analytique complet et transposable à l'échelle territoriale. En effet ces installations présentent plusieurs avantages déterminants :

- Une production de cendres régulière et un volume suffisant,
- Un combustible généralement homogène et traçable,
- Des conditions d'exploitation maîtrisées,

Les chaufferies associées à des réseaux de chaleur, des équipements publics (collèges, EHPAD, bâtiments communaux) ou des sites industriels constituent, à ce titre, des références particulièrement pertinentes. De plus les chaufferies présentent en milieu ruraux de puissance comprise entre 150 et 300 kW représentent également un intérêt spécifique. Elles permettent une articulation directe entre la production de cendres et leur valorisation agricole, favorisant l'acceptabilité locale du dispositif. Leur intégration est conditionnée à l'utilisation de biomasse non adjuvantée, avec une traçabilité établie.

Les très petites chaufferies (inférieures à 150 kW), ainsi que les installations utilisant des combustibles hétérogènes ou insuffisamment tracés, ne seront pas retenues en première intention. Leur faible volume de cendres et la variabilité potentielle de leur composition rendent les analyses moins pertinentes.

Afin de constituer un socle analytique fiable, il est proposé de réaliser des analyses sur un nombre limité de chaufferies (une petite dizaine d'installations), sélectionnées pour leur caractère représentatif. Cette approche permet de couvrir un volume significatif du gisement départemental de cendres tout en optimisant les coûts et les délais de mise en œuvre.

B) Sélection des installations étudiées

Afin de constituer un référentiel analytique représentatif à l'échelle départementale, une sélection a été opérée en privilégiant les installations présentant des volumes de cendres significatifs, une exploitation stable et un combustible homogène et traçable. **Les installations de forte puissance** ont été retenues en priorité en raison de leur part importante dans le gisement de cendres :

- 1) Réseau de chaleur (900 kW)

Des chaufferies de puissance intermédiaire, ont été intégrées afin d'assurer la représentativité du parc départemental. Ces installations offrent un bon compromis entre volumes et diversité des usages (urbain, tertiaire, industriel, équipements publics):

- 1) Chaufferie industrielle (800 kW)
- 2) Chaufferie avec de la sciure bois (800 kW)

Afin d'intégrer les spécificités des **territoires ruraux et le lien potentiel avec la valorisation agricole locale**, plusieurs **chaufferies de taille moyenne** ont été retenues. Ces installations présentent des volumes de cendres compatibles avec des démarches d'épandage agricole de proximité et favorisent l'acceptabilité locale du dispositif :

- 1) Chaufferie communale (450 kW)
- 2) Chaufferie communale rurale (170 kW)
- 3) Bureaux (450 kW)
- 4) Chaufferie publique (500 kW)

Cette sélection de 7 chaufferies permet :

- De couvrir une large gamme de puissances et de typologies d'installations (réseaux de chaleur, équipements publics, industrie, rural, ...).
- De représenter une part significative du gisement départemental de cendres.
- De disposer de résultats analytiques mutualisables et représentatifs pour l'ensemble du territoire.

TABLEAU RECAPITULATIF DES CHAUFFERIES SELECTIONNEES

Num	Puissance bois (kW)	Conso bois (t/an)	Cendres estimées T (2 %)	Volume cendre (600 kg/m³)	Intérêt pour l'analyse
1	450	152	3,2	5,3	Chaufferie tertiaire
2	900	1 371	27,4	45,7	Typologie réseau intermédiaire
3	500	220	4,4	7,3	Chaufferie publique
4	450	283	5,7	9,5	Épandage agricole de proximité
5	170	150	3	5	Chaufferie rurale
6	800	1449	29	48,3	Référence industriel
7	800	308	6,2	10,3	Sciure de bois
	4 070 kW	3 933 T	78,9 T	131,4m3	

4 : Analyses des cendres et caractérisation du gisement

A) Protocole d'échantillonnage et d'analyse

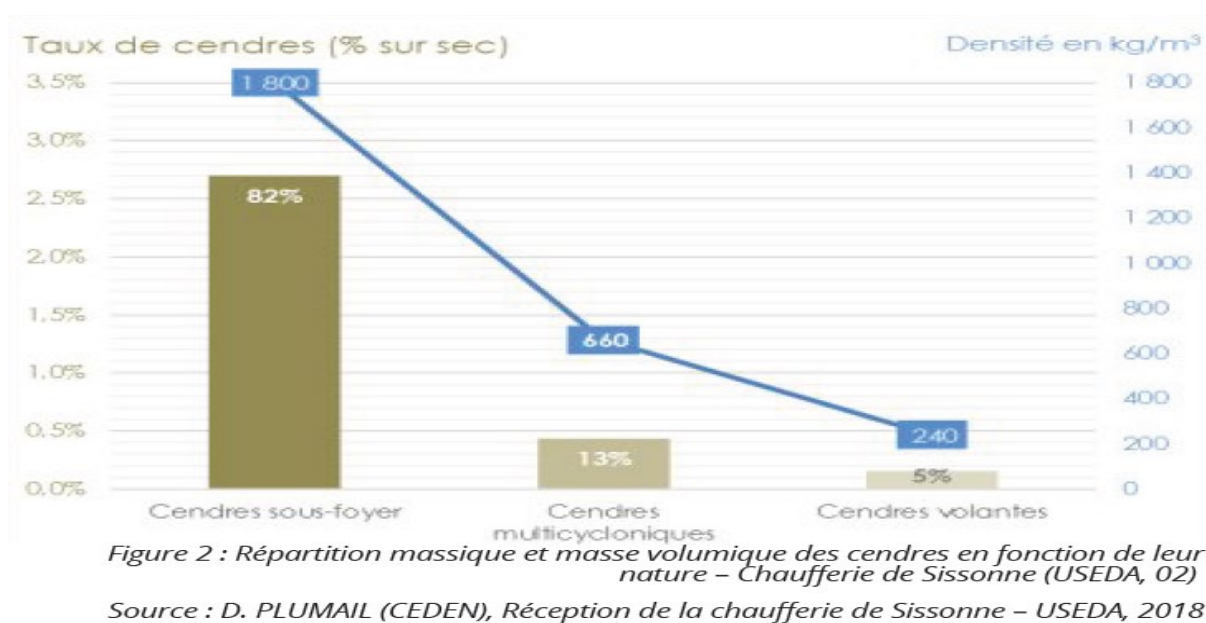
Plusieurs laboratoires d'analyse ont été sollicités dans le cadre de cette étude. Après une analyse comparative des devis et des prestations proposées, le choix s'est porté sur le laboratoire de la RAGT Energie.

Le protocole d'échantillonnage retenu se révèle à la fois simple et rapide à mettre en œuvre. Aucun support spécifique n'est requis pour le prélèvement, sous réserve de constituer un échantillon hermétique d'environ 2 kilogrammes. Il est également demandé de réaliser une prise de photographies lors du prélèvement, afin d'assurer une meilleure traçabilité et contextualisation des échantillons.

Pour la réalisation des prélèvements, un équipement adapté a été utilisé, comprenant des gants de protection, un masque de type FFP2/FFP3 et une pelle. Les échantillons ont été conditionnés dans des seaux alimentaires hermétiques, garantissant leur conservation et leur transport dans de bonnes conditions.

Dans le cadre de cette étude, il a été choisi, lorsque les cendres sont séparées, de se concentrer uniquement sur les cendres sous foyer. Ce choix s'explique, d'une part par leur présence en plus grande quantité, et d'autre part, par leur meilleure qualité agronomique. En effet, ces cendres sont généralement plus « propres » et présentent un potentiel de valorisation plus élevé.

À l'inverse, les autres types de cendres, notamment celles issues des systèmes de traitement des fumées, sont considérés comme plus sensibles d'un point de vue environnemental. Les recherches bibliographiques menées montrent qu'ils sont généralement plus concentrés en éléments traces métalliques, ce qui limite fortement leurs possibilités de valorisation et peut conduire à les orienter vers des filières spécifiques de gestion des déchets. Cependant, lorsque les cendres sont mélangées, une seule analyse des cendres suffit pour mettre en place leur valorisation.



B) Résultats des analyses

Les analyses réalisées sur les cendres des différentes chaufferies sélectionnées montrent des résultats globalement favorables à une valorisation par épandage agricole. La majorité des échantillons analysés présentent des caractéristiques compatibles avec les exigences réglementaires et agronomiques applicables à cette filière de valorisation.

Ces premiers résultats confirment que les cendres issues de chaufferies alimentées par du bois propre peuvent constituer une ressource intéressante pour un retour au sol, sous réserve du respect des conditions réglementaires et de la mise en place d'un suivi adapté (voir annexe 1).

Toutefois, une exception a été identifiée concernant la chaufferie n° 6. Les analyses ont mis en évidence une concentration en cuivre de 1 350 mg/kg de matière sèche, supérieure à la valeur limite de 1 000 mg/kg de matière sèche généralement retenue pour l'épandage agricole. Cette non-conformité rend les cendres incompatibles avec une valorisation agricole dans les conditions actuelles.

En conséquence, cette chaufferie a été écartée de la suite de l'étude portant sur l'épandage.

La présence d'une teneur élevée en cuivre peut s'expliquer par plusieurs facteurs liés à la nature du combustible utilisé. Elle peut notamment résulter de l'introduction de bois traités contenant du cuivre, tels que certains bois ayant subi des traitements de préservation de type cuivre-chrome-arsenic (CCA), historiquement utilisés pour les poteaux, piquets ou autres ouvrages extérieurs. Des teneurs importantes en cuivre peuvent également être observées lors de la combustion de bois issus de la construction ou de la démolition, certains traitements

de protection intégrant des composés à base de cuivre. Enfin, l'utilisation de bois de vigne peut également contribuer à l'augmentation des concentrations en cuivre, en raison des traitements phytosanitaires à base de bouillie bordelaise appliqués au cours de la vie du vignoble. Une contamination ponctuelle du combustible, la présence d'éléments indésirables ou une contamination du processus de manutention ne peuvent être totalement exclues également être totalement exclue.

Par ailleurs, la chaufferie n° 4 a également été retirée du périmètre d'étude. Bien que les analyses réalisées démontrent la conformité des cendres à l'épandage agricole, cette installation bénéficie déjà d'une filière de valorisation opérationnelle avec un agriculteur local. L'objectif de cette étude étant d'identifier des solutions pour les chaufferies ne disposant pas encore d'un exutoire valorisant, il a été décidé de concentrer les investigations sur d'autres installations.

Concernant la chaufferie n° 7, les résultats d'analyses disponibles datent de 2021. Ces données restent néanmoins pertinentes pour orienter les réflexions, et cette chaufferie est donc conservée dans le périmètre de l'étude. Toutefois, si une démarche de valorisation venait à être engagée à court terme, il serait indispensable de réaliser une nouvelle campagne d'analyses afin de disposer de résultats récents et représentatifs de la qualité actuelle des cendres produites.

À l'exception de ces deux cas particuliers, l'ensemble des autres chaufferies étudiées présente des résultats compatibles avec une poursuite des investigations. Elles sont donc maintenues dans la suite de l'étude afin d'évaluer les modalités techniques, réglementaires, logistiques et économiques permettant la mise en place d'une filière territoriale de valorisation des cendres de chaufferie bois.

C) Enseignements

Les analyses réalisées dans le cadre de cette étude apportent plusieurs enseignements importants concernant le potentiel de valorisation des cendres de chaufferie bois produites sur le territoire.

Tout d'abord, elles confirment que la grande majorité des cendres issues des chaufferies étudiées présentent des caractéristiques compatibles avec une valorisation agricole. Ce résultat est particulièrement encourageant puisqu'il démontre que les cendres produites par des chaufferies bois locales ne doivent pas être systématiquement considérées comme un déchet à éliminer, mais peuvent être envisagées comme une ressource valorisable.

Les résultats mettent également en évidence l'importance de la qualité du combustible utilisé. La non-conformité observée sur la chaufferie n° 9 souligne l'impact direct que peut avoir la présence de bois traités ou contaminés sur la composition finale des cendres. Cette

observation confirme la nécessité d'assurer une maîtrise rigoureuse de l'approvisionnement en combustible et de veiller au respect des cahiers des charges relatifs à la qualité du bois énergie.

Les analyses ont également montré une certaine variabilité entre les installations, tant sur les teneurs en éléments fertilisants que sur les concentrations en éléments traces métalliques. Cette variabilité, bien que généralement modérée, confirme qu'il n'est pas possible de généraliser les résultats d'une chaufferie à une autre. Chaque installation possède ses propres caractéristiques liées à la nature du combustible, aux conditions de combustion et aux équipements de traitement des fumées. Il faut donc réaliser des analyses spécifiques avant toute démarche de valorisation.

Par ailleurs, les résultats obtenus confortent le choix méthodologique effectué dans cette étude consistant à privilégier les cendres sous foyer. Ces dernières présentent généralement des caractéristiques plus favorables à la valorisation et des concentrations en éléments indésirables plus faibles que les cendres fines issues des systèmes de dépoussiérage.

Enfin, ces analyses démontrent que la principale difficulté n'est pas nécessairement la qualité des cendres elles-mêmes, mais plutôt l'organisation de la filière de valorisation. Les résultats obtenus montrent qu'un nombre significatif de chaufferies pourrait potentiellement intégrer une démarche de valorisation agricole, sous réserve de disposer d'un cadre réglementaire adapté, d'un accompagnement technique et d'une organisation logistique permettant la collecte, le suivi et l'épandage des cendres dans des conditions satisfaisantes. Ces constats renforcent ainsi l'intérêt de poursuivre les travaux engagés. De plus que l'Aveyron possède des terres acides et d'où l'intérêt de cendres qui ont un PH et pouvoir neutralisant (pH 10–13).

5 : Cadre réglementaire applicable à la valorisation des cendres

Les cendres issues des chaufferies biomasse sont encore peu valorisées, principalement en raison d'un cadre réglementaire relativement flou et contraignant, ainsi que d'un certain coût de mise en place.

Leur statut de déchet implique que leur gestion est strictement encadrée par la loi, et toute valorisation, notamment agricole, doit être accompagnée de mesures de traçabilité et de sécurité. Les textes existants, tels que les dispositions du Code de l'environnement et certains arrêtés de référence, définissent les obligations des producteurs et des utilisateurs finaux, mais **aucune réglementation spécifique n'encadre directement l'épandage des cendres de bois**, ce qui complexifie la mise en œuvre opérationnelle.

A) Statut réglementaire des cendres

Les cendres produites par les chaufferies biomasse relèvent, par principe, du statut de déchet non dangereux, conformément à l'article L.541-1-1 du Code de l'environnement, qui définit comme déchet toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou a l'intention ou l'obligation de se défaire. À ce jour, les cendres de bois ne bénéficient pas d'un statut de produit ou de matière fertilisante reconnu par un texte réglementaire spécifique. La responsabilité de la gestion des cendres incombe à l'exploitant de la chaufferie, en application de l'article L.541-2 du Code de l'environnement, qui impose au producteur ou détenteur du déchet d'en assurer ou d'en faire assurer la gestion dans des conditions respectueuses de l'environnement et de la santé publique.

Les chaufferies biomasse supérieures ou égales à 1 MW sont soumises à la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), au titre de la rubrique 2910 de la nomenclature ICPE. Plus précisément, les installations de combustion utilisant de la biomasse sont classées :

- Sous la rubrique 2910-A lorsque la puissance thermique nominale est supérieure à 20 MW, (non concerné sur le territoire aveyronnais)
- Sous la rubrique 2910-B lorsque la puissance thermique nominale est supérieure à 1 MW et inférieure ou égale à 20 MW.

Ce classement ICPE, défini à l'annexe de l'article R.511-9 du Code de l'environnement, entraîne des obligations en matière de déclaration, d'enregistrement ou d'autorisation, ainsi que des exigences relatives au suivi des flux de combustibles et de déchets, incluant les cendres.

Il est précisé que le régime ICPE applicable à la chaufferie n'interdit pas la valorisation des cendres, mais impose que leur valorisation soit clairement identifiée, traçable et conforme au cadre réglementaire. Dans ce contexte, les cendres issues de la combustion de biomasse bois non traitée peuvent faire l'objet d'une valorisation notamment agricole, sous réserve du respect des conditions réglementaires applicables aux déchets non dangereux (DND). La valorisation agricole concerne souvent les cendres de fond, après caractérisation analytique. Cependant les deux types de cendres sont parfois réunis dans le même cendrier pour les chaufferies de taille intermédiaire et de petite taille. De ce fait si les analyses sont conformes, l'épandage agricole peut concerner les deux types de cendres.

B) Conditions de la valorisation agricole

À ce jour, il n'existe pas de texte réglementaire spécifiquement dédié à l'épandage agricole des cendres de chaufferies biomasse. En conséquence, l'encadrement réglementaire repose sur les principes généraux du droit des déchets et sur des textes de référence utilisés par analogie par les services de l'État.

Les projets d'épandage s'inscrivent notamment dans le cadre des dispositions relatives à la protection des sols et des eaux, définies aux articles L.211-1 et L.211-2 du Code de l'environnement, ainsi que dans les règles générales applicables à l'épandage de déchets non dangereux.

À ce titre, l'arrêté ministériel du 8 janvier 1998 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées constitue une référence technique et méthodologique largement mobilisée par les services instructeurs, bien qu'il ne s'applique pas juridiquement aux cendres.

Les valorisations agricoles de cendres nécessitent en général l'élaboration préalable d'un plan d'épandage, document indispensable à la sécurisation réglementaire du projet. Ce plan précise l'origine des cendres, la nature du combustible utilisé, les volumes produits, les résultats d'analyses physico-chimiques, ainsi que la compatibilité des cendres avec les sols récepteurs. Il définit également les parcelles concernées, les doses maximales d'apport, les périodes d'épandage, les distances réglementaires vis-à-vis des cours d'eau, des habitations et des captages (par exemple, minimum 20 m pour les cours d'eau, 50 m des captages, 10 m des habitations), ainsi que les modalités de suivi agronomique.

Les analyses des cendres doivent porter, a minima, sur les paramètres agronomiques (pH, calcium, potassium, phosphore, magnésium) et sur les éléments traces métalliques, afin de vérifier le respect des seuils de référence issus de l'arrêté du 8 janvier 1998. Les sols agricoles destinés à recevoir les cendres doivent faire l'objet d'analyses préalables afin de caractériser leur état initial et de vérifier leur aptitude à recevoir cet amendement. Un suivi analytique régulier des cendres et des sols est également nécessaire.

Pour les cendres, la fréquence des analyses dépend notamment de la puissance de la chaufferie et du régime réglementaire auquel elle est soumise. En pratique, une à deux analyses par an sont généralement réalisées.

Concernant les sols, une analyse est généralement réalisée pour chaque tranche de 20 hectares. Ces analyses doivent être renouvelées tous les 5 à 10 ans, selon les exigences définies dans le plan d'épandage et la réglementation applicable.

La responsabilité de la conformité des cendres incombe au producteur, c'est-à-dire à l'exploitant de la chaufferie, conformément à l'article L.541-2 du Code de l'environnement. Celui-ci doit garantir la qualité du combustible utilisé, assurer la traçabilité des flux de cendres et fournir les résultats analytiques nécessaires. L'agriculteur, en tant qu'utilisateur final, est responsable du respect des prescriptions du plan d'épandage sur ses parcelles et de la bonne mise en œuvre des pratiques agronomiques définies.

6 : Voies de valorisation des cendres

Les cendres issues des chaufferies biomasse représentent une ressource minérale potentielle, riche en calcium, potassium, phosphore et magnésium. Cependant, leur valorisation reste limitée, en partie à cause des contraintes réglementaires, du manque de filières structurées et des coûts de mise en place. Cette étape a pour objectif de présenter les différentes voies de valorisation possibles, afin d'identifier les solutions les plus adaptées aux volumes produits et aux spécificités du territoire.

A) Valorisation agricole

Comme présenté dans la partie précédente, la valorisation agricole des cendres de chaufferie bois est aujourd'hui la filière la plus mature et la plus largement reconnue en France pour les cendres sous foyer. Elle permet de restituer au sol les éléments minéraux contenus dans le bois tout en réduisant les coûts liés à l'élimination des cendres. Toutefois, son développement reste limité par un cadre réglementaire complexe et des démarches administratives coûteuses, qui constituent un frein pour de nombreux exploitants.

La réglementation permet de mettre en place un plan d'épandage collectif, regroupant plusieurs chaufferies et plusieurs exploitations agricoles. Cependant, l'élaboration d'un tel dossier représente un coût important, généralement compris entre 800 et 1 000 € HT par journée de travail, auxquels s'ajoutent les analyses de cendres et de sols. Pour les petites chaufferies, cet investissement est souvent difficile à rentabiliser au regard des faibles volumes de cendres produits.

La dose et la fréquence d'épandage des cendres ne sont pas définies de manière uniforme par la réglementation. Elles doivent être déterminées au cas par cas à partir d'une étude préalable prenant en compte les caractéristiques physico-chimiques des cendres, les propriétés des sols récepteurs, les besoins des cultures ainsi que le respect des seuils réglementaires, notamment en matière d'éléments traces métalliques. À titre indicatif, les retours d'expérience et les plans d'épandage de cendres de chaufferies biomasse montrent que les doses appliquées se situent généralement entre 2 et 8 tonnes de matière sèche par hectare, avec des temps de retour sur une même parcelle variant le plus souvent de 2 à 5 ans. Ces valeurs restent toutefois dépendantes de la qualité agronomique des cendres, des caractéristiques des sols et des contraintes réglementaires applicables.

Les flux de cendres sous foyer épandus en agriculture en France sont souvent mélangés en co-compostages, le reste de la production étant éliminé en installation de stockage de déchets

non dangereux de classe 2. A noter que l'ajout de cendres dans un compost normé NF U 44-051 est très encadré voire exclu.

La réglementation n'interdit pas le mélange des cendres sous foyer et des cendres issues des traitements de fumées. En revanche, lorsque ces flux sont destinés à l'épandage, leur conformité doit être démontrée par des analyses chimiques réalisées soit sur chaque flux séparément, soit sur le mélange lorsqu'ils sont collectés conjointement.

Pour l'épandage si les cendres ne sont pas mélangées à du fumier ou autre composant il est recommandé d'humidifier les cendres sèches pour réduire leur caractère pulvérulent et d'effectuer un criblage (suivi d'un broyage des refus) ainsi qu'un déferraillage : ces étapes permettent d'éliminer les clous, pierres et tout élément qui peuvent endommager les équipements d'épandage et dégrader la qualité des sols.

Afin de renforcer cette filière, plusieurs leviers peuvent être mobilisés, notamment l'optimisation de la qualité des cendres par une meilleure maîtrise de l'approvisionnement. La clarification et la sécurisation du cadre réglementaire et normatif constituent également un enjeu majeur. Bien que la réglementation ait évolué favorablement en 2013 avec les arrêtés du 26 août, certaines ambiguïtés persistent et freinent encore la confiance des acteurs. Par ailleurs, si le cadre normatif actuel autorise théoriquement la normalisation des cendres de biomasse via la norme NF U 42-001, celle-ci reste difficilement applicable en pratique. À l'échelle européenne, la diversité des approches réglementaires et l'absence de lignes directrices communes ne sécurisent pas les opérateurs, qui manquent de visibilité face à d'éventuelles évolutions réglementaires. Enfin, le développement de démarches d'autorisation de mise sur le marché, notamment sous forme collective sur le modèle de celles existant pour les digestats, ou la mise en place d'une certification qualité dédiée, permettraient de consolider durablement la filière.



Figure 2 Epandage agricole de cendres sèches

B) Valorisation forestière

La productivité des sols forestiers dépend en grande partie de la disponibilité en éléments nutritifs sous des formes assimilables par les végétaux. Lorsque les réserves minérales du sol deviennent limitantes, la croissance de l'ensemble des éléments forestiers est affectée. Cette contrainte est d'autant plus marquée que de nombreux sols forestiers français présentent une acidité naturelle importante, avec des pH fréquemment compris entre 4 et 5,5. Cette acidité influence à la fois la disponibilité des nutriments et le comportement des éléments, en modifiant leur mobilité et leur biodisponibilité. Dans ce contexte, la valorisation des cendres issues de chaufferies biomasse en épandage forestier peut être envisagée comme visant à restaurer ou maintenir la fertilité chimique des sols. Les cendres concentrent les éléments minéraux initialement présents dans la biomasse, notamment le calcium, le potassium, le magnésium, ... Leur richesse en oxydes et carbonates alcalins leur confère un pouvoir neutralisant susceptible de corriger l'acidité des sols forestiers et d'améliorer certaines propriétés physico-chimiques.

Néanmoins, cette pratique soulève des enjeux environnementaux significatifs. Les cendres peuvent contenir des traces d'éléments métalliques, dont les concentrations varient selon la nature du combustible et les conditions de combustion. En milieu acide, la mobilité de certains métaux est susceptible d'augmenter, ce qui peut entraîner des risques de transfert vers les eaux ou d'accumulation dans la biomasse végétale. Par conséquent, toute valorisation forestière comme la valorisation agricole nécessite des analyses des cendres ainsi qu'une évaluation préalable de la sensibilité des sols récepteurs. L'adéquation entre les caractéristiques physico-chimiques des cendres et celles des sols constitue un préalable indispensable afin de garantir le bénéfice de cette action.

En France, la valorisation des cendres de chaufferies bois en forêt nécessite un plan d'épandage et un suivi réglementaire. Les opérations mobilisent des moyens logistiques et techniques importants, notamment en raison des contraintes d'accès aux parcelles forestières. Les doses appliquées sont au cas par cas mais le plus souvent de l'ordre de 3 à 5 tonnes de matière sèche par hectare, avec des apports généralement espacés de plusieurs décennies, voire réalisés une seule fois au cours d'une rotation forestière.

Enfin, bien que la valorisation agricole des cendres ait fait l'objet d'un certain encadrement réglementaire, la valorisation en milieu forestier demeure encore moins structurée dans le cadre juridique français. La valorisation forestière n'est pas explicitement autorisée. Cette situation contribue également à limiter le développement opérationnel de la pratique, en raison des incertitudes réglementaires et des exigences de démonstration environnementale. Dès lors, l'épandage forestier des cendres doit assurer une gestion durable dans les écosystèmes forestiers.

C) Valorisation en matériaux et BTP

Une autre piste de valorisation des cendres possible est la valorisation en matériaux pour le secteur du BTP. Le BTP constitue une voie de valorisation matière prometteuse, encore émergente mais cohérente. Les cendres de biomasse sont en effet des résidus minéraux riches en oxydes (calcium, silice, alumine) dont les propriétés physico-chimiques peuvent être compatibles avec certains usages dans le secteur du BTP, notamment en substitution partielle de matières premières dans la fabrication du ciment ou dans des applications routières (guide « Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière », édité par le SERTA – Service d’Etudes des Routes des Transports et de l’Aménagement), ou encore en correcteur granulométrique ou filler. Dans l’industrie cimentière, ces cendres peuvent être intégrées au cru ou utilisées comme constituant secondaire du ciment, permettant de limiter l’extraction de ressources naturelles et de réduire l’empreinte carbone des matériaux. Des retours d’expérience industriels montrent que les cendres de bois, après préparation (criblage, déferrailage, humidification), peuvent être incorporées directement dans le procédé cimentier en remplacement partiel des matières premières minérales. Nous avons récemment contacté un cimentier (Lafarge qui serait prêt à reprendre nos cendres après analyses à partir d’une tonne) Le frein majeur dans cette valorisation est le coût du transport. Elles peuvent également être valorisées dans des applications annexes du BTP (couches routières, bétons, céramiques), bien que ces usages restent encore peu développés à l’échelle française.

Cependant, cette filière reste fortement conditionnée par des contraintes techniques et réglementaires. D’un point de vue réglementaire, les cendres de chaufferie sont considérées comme des déchets, et leur valorisation en matériaux nécessite soit une conformité à des normes produits (ex : normes ciment ou amendements normés), soit une démarche de sortie du statut de déchet (SSD), impliquant une caractérisation stricte et une traçabilité complète. La variabilité de composition des cendres, notamment la présence potentielle d’éléments traces métalliques ou d’imbrûlés, constitue un frein majeur à leur utilisation en cimenterie, qui exige des intrants homogènes et maîtrisés.

En pratique, seules certaines catégories de cendres (principalement les cendres sous foyer issues de bois propre) présentent un réel potentiel, tandis que les cendres issues du traitement des fumées sont plus difficiles à valoriser. Ainsi, bien que techniquement pertinente, la valorisation des cendres en BTP reste aujourd’hui limitée en France par un manque de structuration, des contraintes normatives strictes et une concurrence avec des exutoires plus simples. Néanmoins, dans un contexte de réduction des déchets et de décarbonation du secteur du BTP, cette voie apparaît comme un levier.

D) Autres voies de valorisation

Il existe encore de nombreuses filières de valorisation possibles, parmi lesquelles figurent celles présentées ci-dessous. Il s'agit le plus souvent de filières locales, de faible volume, et relevant de marchés de niche.

La valorisation des cendres de chaufferie bois sous forme de lessive constitue une voie encore marginale mais historiquement connue et remise au goût du jour par certaines initiatives innovantes telles que le projet AshUp. Ce procédé repose sur l'extraction de la potasse contenue dans les cendres de bois, par lixiviation à l'eau. La solution obtenue, appelée « lessive de cendres », possède des propriétés détergentes naturelles et peut être utilisée, notamment pour le lavage du linge. Cette valorisation présente l'intérêt de transformer un résidu en produit utile, dans une logique de réduction des déchets. Toutefois, son application à l'échelle des chaufferies biomasse reste limitée, en raison des volumes de cendres produits, de la variabilité de leur composition et des contraintes sanitaires et réglementaires associées à la mise sur le marché de produits dérivés. En effet, la qualité des cendres doit être strictement maîtrisée, notamment en ce qui concerne la présence d'éléments indésirables, ce qui restreint cette valorisation à des cendres issues de bois propre et à des usages encadrés. Ainsi, bien que pertinente sur le plan pédagogique et local, cette filière apparaît davantage comme une solution complémentaire que comme une voie de valorisation principale à l'échelle territoriale.

Les cendres de chaufferie bois peuvent également faire l'objet de valorisations limitées à des contextes particuliers ou à des projets expérimentaux. Parmi celles-ci, certaines cendres peuvent être utilisées comme agents de neutralisation dans le traitement d'effluents acides, en raison de leur caractère fortement basique. Elles peuvent également être mobilisées dans des procédés de stabilisation ou solidification de déchets, où elles contribuent à immobiliser certains polluants grâce à leurs propriétés chimiques. Il est également possible de valoriser les cendres en céramique artisanale ou industrielle mais non en céramique technique. D'autres pistes concernent leur utilisation comme matériaux absorbants pour le traitement des odeurs ou de certains polluants, en dégraissant et nettoyant, pour faire fondre le gel sur les routes ou encore dans des applications industrielles ponctuelles nécessitant des apports minéraux spécifiques. Par ailleurs, des travaux de recherche explorent leur intégration dans des matériaux innovants, tels que les géopolymères ou certains liants alternatifs, dans une perspective de réduction de l'empreinte environnementale des matériaux. Toutefois, ces différentes voies restent aujourd'hui peu développées à l'échelle opérationnelle, en raison de contraintes liées à la variabilité des cendres, à la nécessité d'un contrôle qualité strict et à l'absence de cadre réglementaire adapté. Elles constituent néanmoins des perspectives intéressantes en complément des filières de valorisation plus structurées.

7 : Modalités opérationnelles de l'épandage agricole local

A) Conditions techniques et agronomiques

La mise en œuvre d'un épandage agricole des cendres de chaufferie bois repose sur une approche rigoureuse intégrant à la fois la qualité des cendres, les caractéristiques agronomiques des sols récepteurs, ainsi que les conditions techniques d'application, afin de garantir une valorisation durable et sans impact négatif sur l'environnement. Il doit être réalisé par un professionnel habilité à cet effet.

En premier lieu, la qualité des cendres constitue un facteur déterminant. Seules les cendres issues de la combustion de biomasse non adjuvantée (bois naturel non traité) peuvent être envisagées pour une valorisation agricole. Une caractérisation analytique préalable est indispensable et doit porter à la fois sur les paramètres agronomiques (Ca, K, Mg, P, pH, matière sèche) et sur les paramètres environnementaux, notamment les éléments traces métalliques (ETM : Cd, Pb, Hg, Cr, Ni, Zn, Cu) ainsi que certains composés solubles (chlore, sodium). (Voir annexe 1).

En parallèle, une évaluation agronomique des sols est indispensable. Une analyse de sol doit être réalisée pour 20 hectares. L'intérêt principal des cendres réside dans leur pouvoir amendant basique, lié à leur richesse en calcium, ainsi que dans leur apport en potassium et en magnésium. L'épandage est particulièrement adapté aux sols acides à légèrement acides ($\text{pH} < 6,5$), tels que les sols de type rougiers ou certains sols lessivés du territoire aveyronnais. À l'inverse, sur des sols calcaires ou à pH élevé (> 7), l'apport de cendres présente peu d'intérêt agronomique et peut engendrer des déséquilibres nutritionnels (blocage du phosphore, carences en oligo-éléments). Une analyse de sol préalable (pH, CEC, teneurs en éléments majeurs) est donc nécessaire pour raisonner les apports. La localisation des parcelles en zone vulnérable ou non vulnérable a peu d'incidence sur l'épandage des cendres de chaufferie bois, celles-ci étant principalement utilisées comme amendement minéral et contenant très peu d'azote. Les contraintes spécifiques liées à la Directive Nitrates concernent essentiellement les fertilisants azotés. En revanche, quel que soit le zonage, la valorisation des cendres reste conditionnée au respect du plan d'épandage, aux analyses des cendres et des sols, ainsi qu'aux prescriptions réglementaires en vigueur.

Les doses d'épandage doivent être adaptées aux besoins du sol et aux caractéristiques des cendres. À titre indicatif les doses appliquées se situent généralement entre 2 et 8 tonnes de matière sèche par hectare, avec des temps de retour sur une même parcelle variant le plus souvent de 2 à 5 ans. Ces valeurs restent toutefois dépendantes d'autres facteurs. Le raisonnement des doses doit intégrer le bilan calcique et potassique du sol, tout en évitant toute accumulation excessive d'éléments indésirables. Une attention particulière doit également être portée à l'homogénéité des apports afin de limiter les zones de surdosage. Les cendres sont souvent mélangées, notamment avec du fumier, puis épandues dans le cadre d'un co-compostage.

Sur le plan technique, les modalités d'épandage doivent garantir une répartition homogène et maîtrisée. Les cendres peuvent être épandues à l'aide d'épandeurs à fumier ou un épandeur à chaux vive, sous réserve d'une granulométrie compatible, ou d'équipements spécifiques. Les conditions d'intervention sont déterminantes : l'épandage doit être réalisé en conditions sèches, hors périodes de pluie ou de vent fort, afin de limiter les phénomènes de ruissellement, de lessivage ou d'envol de particules fines. Un enfouissement léger (lorsque le système cultural le permet) est recommandé pour améliorer l'incorporation au sol et limiter les pertes. Par ailleurs, des distances réglementaires doivent être respectées vis-à-vis des cours d'eau, habitations et captages, conformément à la réglementation applicable aux épandages (comme évoqué plus haut).

Enfin, la réussite de la valorisation repose sur un suivi dans le temps afin d'évaluer l'évolution du pH et de la fertilité des sols. Dans une logique territoriale, ces conditions peuvent être optimisées dans le cadre d'un plan d'épandage collectif, permettant de mutualiser les analyses, d'harmoniser les pratiques et de sécuriser l'ensemble de la démarche. Le plan d'épandage doit être réalisé par des professionnels habilités à cela.

B) Organisation logistique

La réussite de l'épandage des cendres de chaufferie bois repose non seulement sur les aspects techniques et agronomiques, mais également sur une organisation logistique rigoureuse permettant de sécuriser le transport, le stockage et la mise en œuvre sur les parcelles agricoles. Les cendres doivent être collectées directement à la sortie de la chaufferie et stockées dans des conditions étanches et couvertes, afin de les protéger de l'humidité, du vent et de la contamination. Les installations de stockage doivent être isolées des eaux de ruissellement, avec un plancher étanche lorsque cela est possible, pour éviter toute lixiviation vers le sol ou les eaux superficielles. Le stockage peut être temporaire, le temps d'organiser

l'épandage, ou mutualisé dans le cadre d'un plan collectif si plusieurs chaufferies participent à la filière.

Concernant le transport, celui-ci doit respecter les bonnes pratiques environnementales et la réglementation en matière de transport de matières susceptibles de produire des poussières. Il est recommandé d'utiliser des véhicules adaptés, étanches et couverts, afin d'éviter les pertes de matière et limiter la dispersion dans l'air. Attention le transport chiffre très vite.

Location benne fermée	Forfait prise en charge	Transport Rodez-Toulouse
30€ - 250 € par mois	120 € HT -400€ HT	580 -760€ Ht

Il faut une coordination avec les exploitants agricoles pour identifier les parcelles, évaluer les besoins et adapter les apports. La planification doit tenir compte des périodes culturales, des conditions météorologiques (absence de pluie et de vent fort) ainsi que des contraintes agronomiques spécifiques (type de culture, stade de croissance). Dans le cadre d'un plan collectif, les opérations peuvent être regroupées, optimisant les tournées et réduisant les coûts logistiques pour les chaufferies et les exploitants.

Les opérations doivent respecter les exigences réglementaires, notamment les distances réglementaires vis-à-vis des points d'eau, des habitations et des zones protégées, et les limites de stockage définies par la réglementation ICPE ou les arrêtés spécifiques. La sécurité des opérateurs est également primordiale notamment le port d'équipements de protections individuelles, la prévention de la poussière et la manipulation sécurisée des cendres. Une documentation complète doit être tenue pour chaque opération : quantité épandue, parcelle, date, type de cendres, résultats analytiques, nom de l'agriculteur, etc. Ce suivi permet de vérifier l'efficacité agronomique et environnementale de l'épandage et garantit la conformité en cas de contrôle. Il est aussi recommandé d'effectuer un suivi post-épandage, avec l'analyse des sols, pour ajuster les futures applications.

C) Organisation des acteurs et modèle économique

La mise en œuvre d'un plan d'épandage nécessite la coordination de plusieurs acteurs aux rôles complémentaires. Les exploitants de chaufferies bois doivent assurer la production, la collecte des cendres, ainsi que de prendre en charge les analyses de cendres et de sols. Les agriculteurs bénéficiaires doivent garantir l'adéquation entre la nature de leurs sols et la composition des cendres épandues, tout en respectant les doses préconisées. Les collectivités locales, chambres d'agriculture ou associations peuvent jouer un rôle central de coordination, en identifiant les acteurs, en centralisant les informations et en facilitant les échanges et elles

peuvent également réaliser le plan d'épandage. Enfin, les laboratoires d'analyse interviennent pour vérifier la composition des cendres et des sols et s'assurer de leur conformité aux exigences réglementaires. Une gouvernance claire, définissant les responsabilités, la communication et la traçabilité, est essentielle pour assurer la sécurité sanitaire et la pérennité de la filière de valorisation.

La valorisation des cendres de chaufferie bois repose sur un modèle économique partagé entre les différents acteurs. Le coût lié à la mise en place du plan d'épandage doit être supporté par les chaufferies désireuses de valoriser leurs cendres. Les coûts liés aux analyses et aux prélèvements des cendres et des sols peuvent être supportés par le porteur de projet ou mutualisés entre plusieurs chaufferies via un plan collectif. Le transport et le stockage des cendres représentent également des dépenses qui peuvent être optimisées grâce à des itinéraires centralisés et des contenants adaptés. Pour les agriculteurs, la réception et l'épandage des cendres constituent un coût marginal, compensé par l'apport en éléments fertilisants et la réduction des engrais chimiques. Globalement, la valorisation des cendres permet de diminuer les dépenses liées à la gestion des déchets (enfouissement, élimination) et de générer un bénéfice environnemental et économique, en favorisant le recyclage de ressources locales.

On estime qu'un plan d'épandage peut représenter un intérêt économique à partir de 50 tonnes de cendres produites annuellement par une chaufferie.

La mise en place d'un plan d'épandage représente un investissement non négligeable pour les exploitants de chaufferies bois. En fonction de la complexité du dossier, de la surface concernée, du nombre de parcelles et des analyses à réaliser, le coût d'élaboration d'un plan d'épandage individuel est généralement compris entre 3 000 et 8 000 € HT, auxquels s'ajoutent les analyses de cendres (environ 230 € HT par échantillon), les analyses de sols et le suivi agronomique. Pour les projets les plus complexes, impliquant plusieurs exploitations ou un grand nombre de parcelles, le coût peut être encore supérieur.

Pour les petites et moyennes chaufferies, qui produisent souvent seulement quelques tonnes de cendres par an, cette dépense constitue un frein important. Les économies réalisées grâce à la valorisation des cendres ne permettent pas toujours d'amortir rapidement les coûts liés aux démarches administratives. Cette réalité explique en partie pourquoi de nombreuses chaufferies continuent d'orienter leurs cendres vers des filières d'élimination, malgré leur potentiel de valorisation.

Le coût du plan d'épandage apparaît ainsi comme l'un des principaux obstacles au développement de la valorisation agricole des cendres de chaufferie bois. Afin de lever ce frein, des solutions pourraient être envisagées, telles que la mise en place d'aides financières, l'accompagnement des exploitants par des structures techniques ou encore la simplification

des démarches administratives lorsque les volumes de cendres produits restent limités et que leur qualité est démontrée par des analyses régulières.

Étape 8 : Un possible schéma territorial aveyronnais ?

Au regard des éléments analysés dans les étapes précédentes, il apparaît que la valorisation des cendres de chaufferie bois présente un potentiel à l'échelle du territoire, mais nécessite une organisation structurée pour être opérationnelle.

Les constats réalisés, tant sur les volumes disponibles que sur les contraintes techniques, réglementaires et logistiques, mettent en évidence l'intérêt de formaliser un cadre cohérent et adapté aux spécificités locales.

Dans ce contexte, cette étape vise à déterminer si un schéma territorial de valorisation des cendres est possible, permettant d'organiser de manière concrète et coordonnée les acteurs et des flux. L'objectif est de définir une approche sécurisée, intégrant les modalités techniques, économiques et organisationnelles qui pourrait servir de modèle à d'autre projet similaire. Ce schéma a vocation à servir de base opérationnelle pour accompagner les porteurs de projets et faciliter la mise en œuvre effective de solutions de valorisation, en particulier dans le cadre de l'épandage agricole.

A) Organisation territoriale

Afin de permettre la valorisation des cendres de chaufferie bois à l'échelle du territoire (l'Aveyron), plusieurs modèles d'organisation peuvent être envisagés. Les deux principaux scénarios identifiés sont une gestion collective de la filière sur le département ou du moins sur une partie du département ou une gestion individuelle portée directement par chaque exploitant de chaufferie. Chacun de ces modèles présente des avantages et des limites en termes de coûts, de gestion administrative, de logistique et de pérennité.

Le scénario collectif consiste à mutualiser les volumes de cendres produits par plusieurs chaufferies afin de mettre en place une filière commune de valorisation. Cette organisation permet théoriquement de partager certains coûts liés aux analyses, aux démarches réglementaires, aux transports et au suivi agronomique. Toutefois, au regard des faibles volumes produits individuellement par les chaufferies du territoire, ce modèle soulève plusieurs interrogations quant à sa viabilité économique. La mise en œuvre d'une telle organisation nécessiterait l'identification d'une structure porteuse chargée de coordonner les producteurs, d'assurer la traçabilité des cendres, d'organiser la logistique et de gérer les aspects administratifs. À ce jour, aucun acteur du territoire ne semble naturellement

positionné pour assumer durablement ce rôle. En conséquence, malgré certains avantages théoriques, la création d'une filière collective départementale apparaît complexe à mettre en œuvre et peu adaptée au contexte aveyronnais, mais pourrait être pertinent pour d'autres territoires.

Le scénario individuel repose sur une gestion directe de la valorisation par chaque exploitant de chaufferie. Cette organisation consiste à établir un partenariat local avec un ou plusieurs agriculteurs situés à proximité de l'installation. Les analyses de cendres sont réalisées directement par le producteur, qui conserve la maîtrise de ses flux et de ses coûts. Cette approche limite les besoins en coordination, réduit les distances de transport et favorise les échanges de proximité entre acteurs. Les premiers retours d'expérience observés sur le territoire montrent que ce modèle est déjà mis en œuvre sur certaines installations et qu'il constitue aujourd'hui la solution la plus simple et la plus réaliste pour développer la valorisation des cendres. Il permet également une plus grande souplesse d'adaptation aux spécificités de chaque chaufferie et de chaque exploitation agricole.

Au regard des caractéristiques du territoire, du volume relativement limité de cendres produit annuellement et de l'absence d'un acteur susceptible d'assurer la gestion d'une filière mutualisée, le développement de partenariats locaux entre chaufferies et agriculteurs apparaît comme le scénario le plus réaliste à court et moyen terme. L'accompagnement technique des acteurs et la diffusion d'outils méthodologiques pourraient alors constituer le principal levier d'action pour favoriser la valorisation des cendres à l'échelle départementale.

B) Conditions de reproductibilité à l'échelle départementale

L'objectif de cette étude n'est pas seulement d'identifier une ou plusieurs solutions de valorisation pour les chaufferies étudiées, mais également de déterminer dans quelles conditions ces démarches pourraient être reproduites. Les résultats obtenus montrent que cette reproductibilité est envisageable, sous réserve du respect de plusieurs conditions techniques, réglementaires et organisationnelles.

La première condition concerne la qualité des cendres produites. Les analyses réalisées dans le cadre de cette étude montrent que la majorité des chaufferies produisent des cendres compatibles avec une valorisation agricole. Toutefois, la qualité des cendres reste directement liée à celle du combustible utilisé. Le maintien d'une filière reproductible nécessite donc une vigilance particulière concernant l'approvisionnement en bois, afin d'éviter l'introduction de bois traités, souillés ou contenant des contaminants susceptibles d'augmenter les teneurs en éléments traces métalliques.

La seconde condition repose sur la réalisation d'analyses régulières. Chaque chaufferie souhaitant engager une démarche de valorisation doit être en mesure de caractériser ses cendres afin de vérifier leur conformité et d'orienter la filière de valorisation la plus adaptée. Ces analyses constituent un préalable indispensable pour garantir la sécurité environnementale et répondre aux exigences réglementaires. Dans la majorité des cas, leur coût reste relativement faible au regard des dépenses pouvant être engendrées par l'élimination des cendres comme déchet.

La proximité entre les producteurs de cendres et les utilisateurs potentiels constitue également un facteur déterminant. Les volumes produits par la plupart des chaufferies du département demeurent relativement modestes. La mise en place de partenariats locaux entre exploitants de chaufferies et agriculteurs apparaît donc comme la solution la plus pertinente pour limiter les coûts de transport et simplifier l'organisation logistique. Cette approche de proximité favorise également la création de relations durables entre les acteurs et facilite la mise en œuvre opérationnelle de la valorisation.

L'adhésion des agriculteurs représente un autre élément essentiel de reproductibilité. Bien que les cendres présentent un intérêt agronomique reconnu, leur utilisation reste encore peu connue sur le territoire. Un travail d'information et de sensibilisation apparaît nécessaire afin de mieux faire connaître leurs propriétés, les bénéfices potentiels pour les sols et les conditions d'utilisation sécurisées. La réussite de la filière dépendra en grande partie de la capacité à identifier des exploitants agricoles intéressés et disposant de parcelles adaptées à ce type d'amendement.

Enfin, la reproductibilité à l'échelle départementale nécessite un accompagnement technique des acteurs. De nombreux exploitants de chaufferies disposent aujourd'hui de peu d'informations sur les possibilités de valorisation de leurs cendres et sur les démarches à entreprendre. Dans ce contexte, le rôle de structures telles que Caloé pourrait être de fournir un appui technique, de diffuser des outils méthodologiques, de centraliser les retours d'expérience et de mettre en relation les différents acteurs concernés. L'objectif ne serait pas d'assurer directement la gestion de la filière, mais de faciliter son émergence en apportant les connaissances et les contacts nécessaires.

Au regard de ces éléments, la valorisation des cendres de chaufferie bois apparaît reproductible à l'échelle du département de l'Aveyron. Toutefois, cette reproductibilité reposera principalement sur la multiplication d'initiatives locales portées par les exploitants eux-mêmes, accompagnées par des acteurs techniques du territoire. Une approche pragmatique fondée sur des partenariats de proximité semble aujourd'hui être la voie la plus réaliste pour développer durablement la valorisation des cendres à l'échelle départementale.

9 : Synthèse et perspectives

A) Conditions d'éligibilité des cendres

La réussite de la filière de valorisation des cendres repose avant tout sur la qualité des cendres produites. Les cendres doivent provenir exclusivement de la combustion de bois propre, naturel et non traité, afin de limiter les risques de contamination par des éléments traces métalliques. Une analyse complète des cendres est indispensable pour vérifier leur conformité vis-à-vis des seuils réglementaires et déterminer leur potentiel de valorisation. En parallèle, des analyses de sols doivent être réalisées afin de s'assurer de l'adéquation entre les caractéristiques des cendres et les besoins agronomiques des parcelles destinées à les recevoir. Enfin, la valorisation doit être réalisée dans le respect de la réglementation en vigueur, notamment au travers d'un plan d'épandage.

Pour un exploitant de chaufferie souhaitant valoriser ses cendres, la première étape consiste à vérifier la qualité du combustible utilisé et à privilégier exclusivement du bois propre. Il est ensuite nécessaire de faire réaliser une analyse des cendres afin de connaître leur composition et leur conformité. Si les résultats sont favorables, il convient d'identifier un ou plusieurs agriculteurs intéressés, puis de faire réaliser les analyses de sols et les études réglementaires nécessaires à la mise en place d'un plan d'épandage. Il doit ensuite identifier un partenaire habilité à réaliser des plans d'épandage. Une fois les autorisations obtenues, les cendres peuvent être épandues conformément aux prescriptions définies, avec un suivi régulier des analyses et une traçabilité des opérations réalisées. Si l'exploitant ne sait vraiment pas par quelle étape commencer il peut directement se diriger vers la chambre d'agriculture ou un bureau d'étude, ou un autre partenaire pour faire directement le plan d'épandage. Faire les étapes précédentes permette en général de réduire le coût du plan d'épandage.

B) Perspectives

Cette étude constitue une première étape dans la structuration d'une filière locale de valorisation des cendres de chaufferie bois en Aveyron. Les travaux réalisés ont permis de démontrer que la majorité des cendres sous foyer issues des chaufferies étudiées présentent un potentiel de valorisation, notamment en épandage agricole, sous réserve du respect des exigences réglementaires. Toutefois, plusieurs actions restent à engager afin de permettre le développement concret de cette filière.

À court terme, il apparaît nécessaire de poursuivre les analyses de cendres sur un plus grand nombre de chaufferies afin de disposer d'une base de données représentative de la qualité des cendres produites sur le territoire. Ces données permettront de confirmer les tendances observées et d'orienter plus facilement les exploitants vers les filières de valorisation les plus adaptées. La poursuite des échanges avec les agriculteurs, les organismes agricoles, les bureaux d'études et les services de l'État constitue également un enjeu majeur. La mise en place des premiers plans d'épandage permettra d'acquérir un retour d'expérience local et de démontrer la faisabilité technique, réglementaire et économique de cette démarche. Ces premières opérations pourront servir d'exemple pour encourager d'autres exploitants à s'engager dans une démarche similaire.

Parallèlement, une veille technique et réglementaire devra être maintenue afin de suivre les évolutions concernant la valorisation des cendres de biomasse. Les réflexions engagées au niveau national et européen sur l'économie circulaire, le recyclage des matières minérales et la réduction des déchets pourraient, à moyen terme, favoriser l'émergence de nouvelles filières de valorisation et simplifier certaines démarches administratives.

Enfin, si la valorisation agricole apparaît aujourd'hui comme la solution la plus réaliste pour le territoire, d'autres voies méritent d'être explorées, notamment l'intégration des cendres dans les matériaux de construction, leur utilisation en cimenterie ou encore le développement de nouveaux produits à plus forte valeur ajoutée. La poursuite de travaux de recherche et d'expérimentations permettra d'élargir progressivement les débouchés et de renforcer la place des cendres de chaufferie bois dans une véritable logique d'économie circulaire.

À terme, l'ambition est de faire évoluer la perception des cendres de chaufferie bois : non plus comme un déchet à éliminer, mais comme une ressource locale pouvant contribuer à la performance économique des chaufferies, à la fertilité des sols et au développement durable de la filière bois-énergie en Aveyron.

C) Conclusion générale

L'objectif de cette étude était d'évaluer la faisabilité de la mise en place d'une filière locale de valorisation des cendres de chaufferies bois en Aveyron. Les travaux réalisés ont permis d'acquérir une vision globale des enjeux techniques, réglementaires, économiques et organisationnels liés à cette thématique encore peu développée sur le territoire. L'état des lieux réalisé montre que les chaufferies bois produisent chaque année un volume de cendres, actuellement majoritairement orienté vers des filières d'élimination. Pourtant, les analyses réalisées dans le cadre de cette étude mettent en évidence que la majorité des cendres issues de la combustion de bois propre présentent des caractéristiques compatibles avec une valorisation agricole. Seule une chaufferie s'est révélée non conforme à cette voie de valorisation en raison d'une teneur excessive en cuivre, soulignant ainsi l'importance de la qualité du combustible utilisé et de la réalisation d'analyses préalables.

Parmi les différentes voies étudiées, la valorisation agricole apparaît aujourd'hui comme la solution la plus réaliste, la plus mature et la plus facilement déployable à l'échelle du département. Elle permet de restituer au sol des éléments minéraux tels que le calcium, le potassium ou le magnésium, tout en limitant le recours à l'enfouissement et en s'inscrivant pleinement dans une logique d'économie circulaire. D'autres débouchés, comme la valorisation forestière, l'incorporation dans les matériaux de construction ou la fabrication de produits innovants, présentent également un intérêt mais demeurent encore limités par des contraintes techniques, économiques ou réglementaires.

Cette étude met également en évidence que le principal frein au développement de cette filière n'est pas la qualité des cendres, mais la complexité des démarches réglementaires, le coût des analyses et de l'élaboration des plans d'épandage, ainsi que le manque de structuration de la filière. Le développement d'un réseau local réunissant exploitants de chaufferies, agriculteurs, bureaux d'études, laboratoires, organismes agricoles et collectivités apparaît donc indispensable pour faciliter la valorisation des cendres et accompagner les porteurs de projets.

Au-delà des résultats obtenus, ce travail a permis de créer de nombreux contacts avec les acteurs du territoire, de réaliser les premières analyses de cendres sur plusieurs chaufferies aveyronnaises et d'identifier des exploitants agricoles intéressés par cette démarche. Il constitue ainsi une première étape vers la structuration d'une filière départementale de valorisation des cendres de chaufferies bois.

Enfin, il conviendra de poursuivre les analyses sur un plus grand nombre de chaufferies, d'accompagner la mise en place des premiers plans d'épandage locaux, de suivre les premiers retours d'expérience et d'évaluer la faisabilité d'autres voies de valorisation. À terme, l'objectif est de faire des cendres de chaufferie bois non plus un déchet à éliminer.

ANNEXES

1. Un résultat d'analyse

2. Analyse type 2 : Analyses pour la revalorisation épandage / compostage

2.1 Métaux sur matrice solide

REF CLIENT			CENDRES		Limite normative et / ou réglementaire	
REF RAGT			DEV-26-341-E01			
Paramètres		Méthodes	Résultats	Unités	Seuils	
Arsenic	As	NF ISO 22038	5,6	mg/kg MS		
Sélénium	Se	NF ISO 22038	<1,00	mg/kg MS		
Cadmium	Cd	NF ISO 22038	0,27	mg/kg MS	≤ 10	
Chrome	Cr	NF ISO 22038	353	mg/kg MS	≤ 1 000	
Mercure	Hg	NF ISO 22038	<0,04	mg/kg MS	≤ 10	
Nickel	Ni	NF ISO 22038	65,4	mg/kg MS	≤ 200	
Plomb	Pb	NF ISO 22038	5,63	mg/kg MS	≤ 800	
Cuivre	Cu	NF ISO 22038	395	mg/kg MS	≤ 1 000	
Zinc	Zn	NF ISO 22038	32,3	mg/kg MS	≤ 3 000	
Cobalt	Co	NF ISO 22038	9,02	mg/kg MS		
Fer	Fe	NF ISO 22038	13200	mg/kg MS		
Manganèse	Mn	NF ISO 22038	13600	mg/kg MS		
Molybdène	Mo	NF ISO 22038	4,32	mg/kg MS		
Bore	B	NF ISO 22038	324	mg/kg MS		
Cr+Cu+Ni+Zn		NF ISO 22038	845,70	mg/kg MS	≤ 4 000	
Thallium	Tl	NF ISO 22038	NA	mg/kg MS		
Vanadium	V	NF ISO 22038	NA	mg/kg MS		
Chrome VI ¹	CrVI	NF T 90-043	NA	mg/kg MS		

2.2 Micropolluants sur matrice solide

2.2.1 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Fluoranthène	FA	NF ISO 18287	<0,10	mg/kg MS	≤ 5	
Benzo(b)fluoranthène		NF ISO 18287	<0,10	mg/kg MS	≤ 2,5	
Benzo(a)pyrène		NF ISO 18287	<0,10	mg/kg MS	≤ 2	

2.2.2 Polychlorobiphényles (PCB)

PCB n° 28		NF EN 17322	<0,01	mg/kg MS		
PCB n° 52		NF EN 17322	<0,01	mg/kg MS		
PCB n° 101		NF EN 17322	<0,01	mg/kg MS		
PCB n° 118		NF EN 17322	<0,01	mg/kg MS		
PCB n° 138		NF EN 17322	<0,01	mg/kg MS		
PCB n° 153		NF EN 17322	<0,01	mg/kg MS		
PCB n° 180		NF EN 17322	<0,01	mg/kg MS		
Somme des 7 PCB		NF EN 17322	<0,07	mg/kg MS	≤ 0,8	

2.3 Analyses physiques

REF CLIENT			CENDRES	
REF RAGT			DEV-26-341-E01	
Paramètres		Méthodes	Résultats	Unités
Matière sèche	MS	NF EN 15934	100	% M_{gr}
Humidité		NF EN 15934	0,00	% M_{gr}
pH (CaCl ₂)	pH	NF EN 12176	13,4	SO

Limite normative et / ou réglementaire

Seuils

2.4 Analyses pour une valorisation agricole

2.4.1 Azote et Carbone

Matières organiques	MO	NF EN 15935	92,30	g/kg MB
			92,30	g/kg MS
Matières organiques en %	%MO	Calcul	9,23	% MB
			9,23	% MS
Matière minérale	MM	NF EN 15935	907,70	g/kg MB
			907,70	g/kg MS
Matière minérale en %	%MM	Calcul	90,77	% MB
			90,77	% MS
Carbone organique total	COT	NF EN 15935	46,15	g/kg MB
			46,15	g/kg MS
Azote ammoniacal	NH ₄ -N	DIN 38406-5	0,12	g/kg MB
			0,12	g/kg MS
Azote total d'après Kjeldahl	NTK	NF EN ISO 16948	<0,2	g/kg MB
			<0,2	g/kg MS
Azote organique		NF EN ISO 16948	0,08	g/kg MB
			0,08	g/kg MS
C/N		Calcul	230,75	SO
C/N _{organique}		Calcul	576,88	SO

2.4.2 Eléments majeurs

REF CLIENT			CENDRES	
REF RAGT			DEV-26-341-E01	
Paramètres		Méthodes	Résultats	Unités
Phosphore	P ₂ O ₅	NF ISO 22036	3,63	%m cendre MB
			3,63	%m cendre MS
Potassium	K ₂ O	NF ISO 22036	14,00	%m cendre MB
			14,00	%m cendre MS
Calcium	CaO	NF ISO 22036	38,30	%m cendre MB
			38,30	%m cendre MS
Soufre	SO ₃	NF ISO 22036	0,35	%m cendre MB
			0,35	%m cendre MS
Sodium	Na ₂ O	NF ISO 22036	0,59	%m cendre MB
			0,59	%m cendre MS
Magnésium	MgO	NF ISO 22036	5,35	%m cendre MB
			5,35	%m cendre MS

Limite normative et / ou réglementaire

Seuils

2. Fiche synthèse exploitant chaufferie

FICHE SYNTHÈSE SUR LA VALORISATION DES CENDRES DE CHAUFFERIES BOIS

CENDRES DE BOIS

1. 1. POURQUOI VALORISER SES CENDRES ?

Les cendres de chaufferies bois sont souvent considérées comme un déchet et orientées vers des filières d'élimination coûteuses. Pourtant, lorsqu'elles respectent certains critères de qualité, elles peuvent être une ressource locale valorisable.

2. 2. LES PRINCIPAUX FREINS

- Méconnaissance des possibilités de valorisation
- Démarches administratives parfois complexes
- Coût des analyses de cendres
- Coût de réalisation d'un plan d'épandage
- Difficulté à identifier des agriculteurs partenaires
- Contraintes réglementaires.

3. 3. LES PRINCIPAUX INTÉRÊTS DE LA VALORISATION

- Réduction des coûts d'élimination
- Valorisation d'une ressource locale
- Anticiper les évolutions réglementaires.
- Participer à une démarche d'économie circulaire et améliorer l'impact de la chaufferie.
- Diminution de l'enfouissement des déchets.

4. 4. LES CONDITIONS

- Utiliser seulement du bois propre et non traité.
- Faire analyser les cendres avant toute valorisation.
- Vérifier la conformité réglementaire.
- Adapter la filière de valorisation aux résultats d'analyses.
- Se rapprocher d'un organisme habilité à réaliser un plan d'épandage et respecter les prescriptions qui y sont définies (Chambre d'agriculture, bureau d'études, ...).

5. 5. LES PRINCIPALES FILIÈRES DE VALORISATION

- Épandage agricole (solution bien développée).
- Incorporation dans certains matériaux de construction (béton, ciment).
- Valorisation forestière.
- Co-compostage
- Fabrication de lessive.

6. 6. LES BONNES PRATIQUES

- Séparer si possible les cendres sous-foyer des cendres volantes.
- Contrôler fréquemment la qualité du combustible.
- Faire analyser les cendres régulièrement.
- Stocker les cendres dans un espace et contenant sec, adapté et simple à manipuler.
- Anticiper les débouchés avant la réalisation de la chaufferie ainsi que la séparation des cendres
- Mettre en place une rotation des cendriers pour éviter leur saturation.

7. 7. A RETENIR

- La majorité des cendres issues de la combustion de bois propre ont un potentiel de valorisation.
- Une analyse est la première étape indispensable pour identifier la filière la plus adaptée.
- La valorisation permet généralement de réduire les coûts d'élimination tout en améliorant les performances environnementales de la chaufferie.
- Une démarche de valorisation contribue au développement d'une filière locale, durable et aux économies circulaires.



ASSOCIATION
CALOË
La chaleur renouvelable en Aveyron

3. Fiche synthèse agriculteur

FICHE SYNTHÈSE SUR LA RECUPERATION DES CENDRES DE CHAUFFERIES BOIS **CENDRES DE BOIS**

1. 1. POURQUOI PRENDRE DES CENDRES ?

Les cendres de chaufferie bois issues de bois propre et non traité peuvent être utilisées comme amendement minéral basique. Elles permettent de restituer au sol une partie des éléments minéraux prélevés par les arbres lors de leur croissance et constituent une alternative à certains amendements minéraux comme la chaux.

2. 2. LES PRINCIPAUX INTÉRÊTS DES CENDRES

- Corriger l'acidité des sols (augmentation du pH).
- Apporter du calcium (Ca), du potassium (K), du magnésium (Mg) et du phosphore (P).
- Améliorer la fertilité chimique des sols.
- Remplacer partiellement certains amendements calcaires.
- Réduire les achats d'amendements minéraux.
- Valoriser et recycler une ressource locale.
- Participer à une démarche d'économie circulaire.
- Limiter l'enfouissement des cendres.
- Favoriser une gestion durable des ressources.

3. 3. COMMENT PROCÉDER ?

- Identifier une chaufferie utilisant du bois propre. (voir observatoire du bois énergie)
- Faire réaliser une analyse des cendres par l'exploitant de la chaufferie.
- Vérifier la compatibilité des parcelles grâce aux analyses de sols et des cendres.
- Mettre en place un plan d'épandage et définir les doses d'apport avec un conseiller de la chambre de l'agriculture ou un bureau d'études.
- Assurer la traçabilité des épandages réalisés.

4. 4. LES OBSTACLES

- Les cendres doivent obligatoirement être analysées avant toute valorisation.
- Les sols doivent être compatibles avec les cendres (analyses de sols).
- La réglementation est exigeante (plan d'épandage, suivi agronomique, traçabilité).
- Toutes les cendres ne sont pas valorisables (présence possible de métaux lourds).
- Les sols calcaires ont peu d'intérêt.

5. 5. LES BONNES PRATIQUES

- Réserver les cendres aux sols acides.
- Respecter les doses recommandées dans le plan d'épandage.
- Épandre hors périodes de pluies ou de gel.
- Faire un suivi du pH et de la fertilité des sols.
- Privilégier des partenariats de proximité.
- Stocker les cendres dans un espace sec et fermé.

6. 6. A RETENIR

- Les cendres de bois ne sont pas un engrais, mais un amendement minéral basique.
- Elles présentent un intérêt sur les sols acides, où elles améliorent le pH et apportent des éléments minéraux.
- Seules les cendres conformes aux analyses peuvent être valorisées.
- La réussite d'un projet repose sur une collaboration entre l'agriculteur, l'exploitant de la chaufferie et les organismes techniques.
- Lorsqu'elles sont utilisées dans de bonnes conditions et dans le respect de la réglementation, les cendres constituent une solution locale, durable et économiquement intéressante pour la fertilité des sols.

