



Projet A.B.Cendres 1 :

Agriculture
Biomasse
& Cendres
De Guyane



-
- ✘ Pilotage de Projet : Vincent GUERRERE (PDG SAS SIMA-PECAT)
 - ✘ Chargée d'étude : Fanny MISS (Vice directrice SAS SIMA-PECAT)
 - ✘ Contact Chargée d'étude :
 - Tél : 06.94.14.93.18
 - Mail : fanny.miss@sima-pecat.org
 - ✘ Site du Projet : <http://abcendres1.sima-pecat.org/>
-

Sommaire :

1. Pourquoi parle-t-on de cendres dans un projet Biomasse :.....	1
Schéma général d'une centrale :.....	1
Principe simplifié de la combustion :	2
Combustion dans une chaudière :.....	2
2. Composition et variabilité des cendres :.....	3
Compositions élémentaires et taux de cendres :.....	3
3. Facteur de variabilité :.....	6
Variabilité selon les ressources utilisées :	6
Fines, Particules et apports terrigènes :.....	7
Plusieurs types de cendres dans une installation biomasse :	8

Note technique N°1

Principe de combustion et composition des cendres

Selon la nature des écosystèmes et le type d'agro-industries et d'industries forestières, les caractéristiques physico-chimiques des combustibles d'une centrale thermique seront extrêmement diversifiées et de leur parfaite connaissance dépendra la réussite d'un projet de valorisation énergétique. Ce d'autant que les produits lignocellulosiques nécessitent souvent un pré-conditionnement afin d'adapter ces caractéristiques aux contraintes imposées par la technologie choisie.

Cette note a pour objectif de rappeler le principe de combustion dans le cadre d'une chaudière à biomasse alimentée par des bois dans le contexte guyanais.

Les cendres sont issues de la combustion du bois ou de matières agricoles. Nous définirons les différentes compositions de cendres produites par différentes ressources, les facteurs de variabilité de ces compositions, les différents types de cendres produites par une centrale...

1. Pourquoi parle-t-on de cendres dans un projet Biomasse :

Schéma général d'une centrale :

Dans le schéma de fonctionnement d'une centrale thermique biomasse, on approvisionne en bois (biomasse ligneuse) ou en déchets/produits agricoles ligneux, et il en ressort de l'électricité plus des déchets.

Les déchets sont soit réémis dans l'atmosphère par une cheminée car sous forme de gaz, ou soit sous forme de cendres en différents endroits du process (cendres sous foyer et volantes).

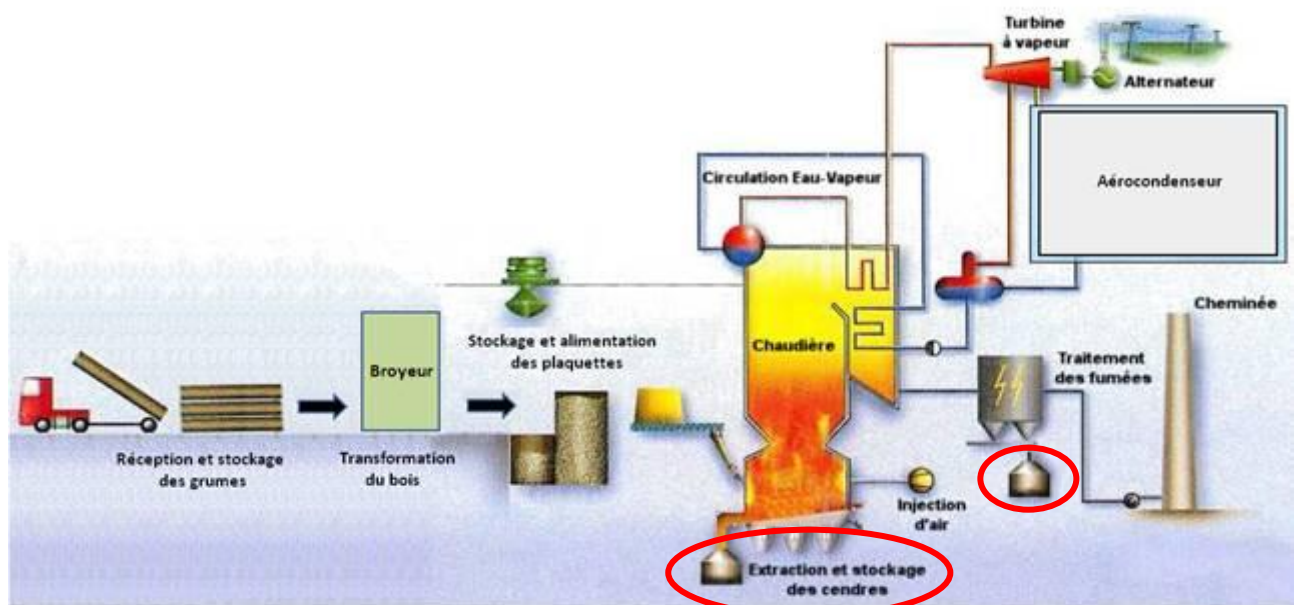


Figure 1. Schéma global et général de fonctionnement d'une centrale biomasse énergie et mise en évidence générale des productions de cendres le long du process. Source : NEOEN.

Principe simplifié de la combustion :

La combustion de manière simple est une réaction thermique d'oxydoréduction. Elle fait réagir à température élevée un combustible contenant du carbone et de l'hydrogène (bois par exemple) avec un comburant riche en oxygène (air). La combustion libère du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, ainsi que des minéraux (cendres) en produisant de l'énergie calorifique (cf. Figure 2).

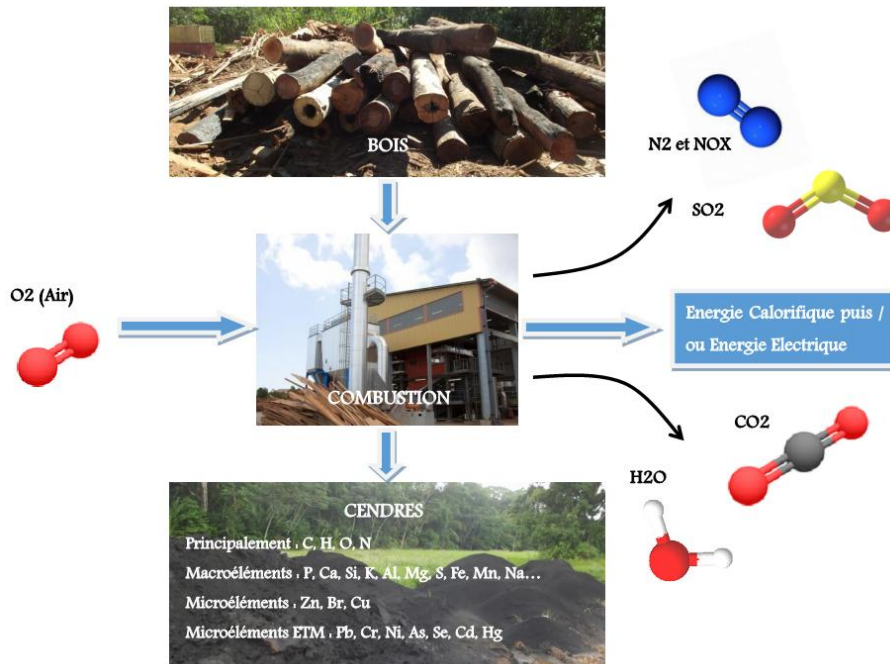
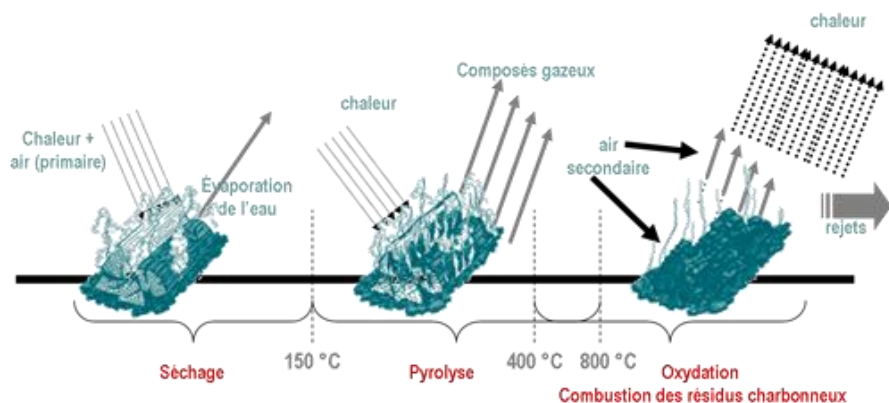


Figure 2. Schéma général d'une combustion de bois dans le contexte d'une centrale thermique. Source : SIMA-PECAT.

Combustion dans une chaudière :

La combustion qui constitue la phase ultime de la dégradation d'un combustible se déroule schématiquement selon trois phases principales : (1) la déshydratation ; (2) la pyrolyse ; (3) le mélange air/produits de pyrolyse et les réactions d'oxydation et réduction qui vont libérer de la chaleur. Il est clair que les caractéristiques des combustibles vont grandement affecter les différentes phases du processus thermochimique : taille des éléments et granulométrie, densité de la matière et pouvoir calorifique, composition de la matière, salissure de la matière...

Figure 3. Schéma présentant les grandes étapes d'une combustion dans la chaudière d'une centrale biomasse.



2. Composition et variabilité des cendres :

Dans cette note technique nous considérons que les approvisionnements de centrales existantes ou à venir en Guyane ne se feront qu'avec du bois non traité et considéré comme « propre » c'est-à-dire sans adjuvant (à la différence de nombreuses situations en Métropole).

Compositions élémentaires et taux de cendres :

La composition chimique du bois peut se considérer à deux niveaux :

- Les principaux constituants pris en considération sont généralement la cellulose, les lignines, les hémicelluloses et les extraits de solvants naturels... qui interviennent directement dans les réactions thermochimiques.
- L'analyse élémentaire détermine principalement la quantité de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote et de matières minérales sans tenir compte de la manière dont les éléments sont combinés entre eux. Cette composition, à l'exception des matières minérales, est relativement constante pour les produits lignocellulosiques.

Le bois est composé essentiellement de carbone (50 %), d'hydrogène (inférieur à 10%) et d'oxygène (environ 40%)¹. L'azote y est présent à une proportion inférieure à 1%. Ces composés sont consommés lors de la combustion.

En général, les matières lignocellulosiques ont une faible teneur en matières minérales (>1%). Cependant, certains résidus agricoles ou agro-industriels peuvent dépasser 20% (balles de riz).

Le bois contient à l'état de trace des minéraux tels que des macroéléments (Calcium, Silicium, Potassium...) et des microéléments (Zinc, Bore, cuivre) dont certains de ces derniers sont toxiques (plomb, arsenic, nickel...) nommés aussi Éléments Traces Métalliques (ETM).

Le taux de cendres d'un 'combustible' est d'une très grande importance technologique (formation de mâchefer). La nature et la richesse en cendres influencera les choix technologiques.

Le taux de silice est également un paramètre important à contrôler, car il est relié à la production de mâchefer. Des matériaux trop riches en silice sont synonymes de corrosion élevée du dispositif, imposant parfois des choix de technologies plus rustiques mais souvent avec un rendement énergétique un peu moins intéressant.

Dans les deux pages qui suivent sont présentés deux tableaux de synthèses :

- Des résultats analysés par SIMA-PECAT Guyane sur les compositions élémentaires de nombreuses ressources envisagées en Guyane et les taux de cendres mesurés.
- Issue de l'étude de 'Qualification des essences forestières de Guyane pour un usage biocombustible' du CIRAD en 2010, la moyenne des compositions minérales des 50 premières essences en termes de volume de bois exploitables par hectare en forêt de Guyane.

¹Valeur moyenne pour des bois de métropole, source RDV technique n°35 – hiver 2012 – ONF, retour des cendres de bois en forêt : opportunités et limites.

Matière	Analyse élémentaire				Cendres
	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	(%)
Douglas (biblio)	50,4	6,0	0,5	42,7	0,4
Eucalyptus (biblio)	47,7	5,9	0,1	46,0	0,4
Mimosa (biblio)	48,3	5,8	0,9	42,6	2,4
Forêts Secondaires de Défriche Urbaine					
F. Secondaire 1	48,8	5,9	0,30	42,66	2,3
F. Secondaire 2	49,0	6,1	0,22	43,43	1,3
F. Secondaire 3	49,7	6,1	0,26	42,76	1,2
F. Secondaire 4	50,0	6,1	0,25	42,3	1,4
Forêt Naturelle de la Plaine Côtière					
Déf. Agri. 1	51,1	5,9	0,14	42,86	1,2
Déf. Agri 2	50,6	5,9	0,31	43,19	1,5
Ressources agricoles testées en Guyane					
Miscanthus	47,3	6	0,9	45,8	4,5
Foin Bracharia	46,1	5,9	0,3	47,4	5,7
Pennisetum sp. (tiges + feuilles)	En attente des résultats				
Pennisetum sp. (tiges)	En attente des résultats				
Eucalyptus prélevé au sein de la société AMCEL au Brésil					
Eucalyptus AMCEL Brésil	En attente des résultats				

Figure 4. Quelques résultats d'analyses élémentaires sur différentes ressources de métropole (Douglas, Eucalyptus, Mimosa), sur différentes formations forestières de Guyane (Forêts Secondaires de Défriche Urbaine, Forêt Naturelle de la Plaine Côtière), sur différentes ressources agricoles testées en Guyane (Miscanthus, Foin de Bracharia, Pennisetum), et sur de l'Eucalyptus prélevé au sein de la société AMCEL au Brésil. Source : SIMA-PECAT Guyane.

Taux de matières minérales	Taux de cendres %	1,0
Composition minérale des cendres	Taux de silice : SiO₂ %	0,30
	P %	0,005
	K %	0,093
	Ca %	0,154
	Mg %	0,032
	Na %	0,030
	S %	0,035
	Cu ppm	0,94
	Zn ppm	2,86
	Fe ppm	15,49
	Mn ppm	15,33
	Cl ppm	342
Composition élémentaire	N %	0,2
	C %	49,8
	H %	6,1
	O %	42,8
Pouvoir calorifique	PCI (MJ/Kg)	18,8

Figure 5. Taux de cendres, composition minérale, composition élémentaire et pouvoir calorifique des 50 essences étudiées et des 150 échantillons de bois de Guyane analysés. Source : CIRAD 2010.

3. Facteur de variabilité :

Les cendres ont une composition différente en fonction du combustible utilisé. Les minéraux contenus dans la matière première sont un bon indicateur du taux de cendre à l'issue de la combustion. Plus le combustible est riche en minéraux plus les cendres à l'issue de la combustion contiendront des minéraux. Mais d'autres paramètres et facteurs font varier les quantités de cendres :

- **Le traitement** => le bois non adjuvanté (« propre ») contient peu de micro éléments (donc d'ETM) contrairement au bois adjuvanté (traité).
- **Le compartiment** => l'écorce, les feuilles et les racines contiennent de nombreux minéraux, ils ont un pouvoir calorifique plus faible et le taux de cendres à l'issue de la combustion est plus élevé. Les cendres de ces compartiments contiennent 5 à 10 fois plus d'éléments minéraux que la cendre des troncs.
- **L'essence** => l'espèce, la station de prélèvement, la période de récolte peuvent être des facteurs de variation.
- **La température de combustion** => elle influe sur la volatilisation ou non des éléments N, K, Cl et B et des oxydes formés. Si la température est élevée l'ensemble des éléments sont volatilisés et se retrouvent en effluents gazeux et le taux de cendre diminue.
- **Le type de technologie employée** => diverses technologies de centrales et chaudières existent (la combustion, la gazéification... lit fixe, fluidisé, Co-courant, contre courant...) les quantités de cendres par volume de bois peuvent être différentes, de même que les proportions de cendres volantes et de cendres sous foyers.
- **La qualité de la technologie employée** => pour une même technologie, différentes marques peuvent proposer des rendements différents et des qualités de combustion variables, entraînant des quantités de cendres par volume de bois différentes.

Variabilité selon les ressources utilisées :

Selon la nature des écosystèmes (forêts secondaires, primaires, habitats forestiers...), le type d'industries forestières (défriche urbaine, connexes scierie, exploitation dédiée, déchets d'exploitation bois d'œuvre...), et l'intégration de ressources d'origines agricoles (Sorgho, Miscanthus, Canne...), les caractéristiques physico-chimiques seront extrêmement diversifiées, et de leur parfaite connaissance dépendra la réussite d'un projet de valorisation énergétique. Ce d'autant que les produits lignocellulosiques nécessitent souvent un pré conditionnement afin d'adapter ces caractéristiques aux contraintes imposées par la technologie.

Un exemple simple de cette variabilité peut être donné à partir de l'étude du CIRAD citée précédemment. Sur les 50 essences de bois étudiés, le taux de cendres moyen a été calculé en à 1 % de la matière sèche et on observe une forte variabilité avec des valeurs extrêmes mesurées entre 0,1% et 4%. Dans le même sens, sur les résultats de la détermination de la composition minérale des bois, on retiendra que la teneur moyenne en silice est de 0.36% avec des valeurs extrêmes allant de 0 à 3.2% selon les échantillons².

² Les bois du genre *Licania* (qui font partie des gaulettes) ont le taux de silice le plus élevé compris entre 1 et 3,2%.

Fines, Particules et apports terrigènes :

Le transport, le stockage ou les manipulations diverses des matériaux peuvent accroître dans de fortes proportions la quantité de matières minérales extérieures (sables, terres, etc.).

Dans le tableau de la page 4, c'est ce qu'il s'est produit pour le premier échantillon de bois broyé issu d'un chantier pilote en défriche urbaine VOLTALIA/SIMA-PECAT Guyane (F. Secondaire 1). Effectivement ce bois a été broyé le jour de la défriche urbaine et était chargé de sable et de terre. Les trois autres échantillons ont été stockés sur plateforme pour suivre l'évolution de l'humidité de ces bois, et des pluies ponctuelles ont lavées les bois en surface, expliquant de la sorte la première valeur plus élevée alors que les quatre échantillons sortaient de la même forêt.

SIMA-PECAT a ces dernières années produit des analyses de taux de cendre sur des forêts défrichées (agricoles et urbaines), donc sur des cortèges floristiques complexes. Nous évaluons aujourd'hui que le taux de cendres se situe entre 1,2% et 1,6% (un peu supérieur aux résultats du CIRAD qui étaient concentrés sur 50 essences).

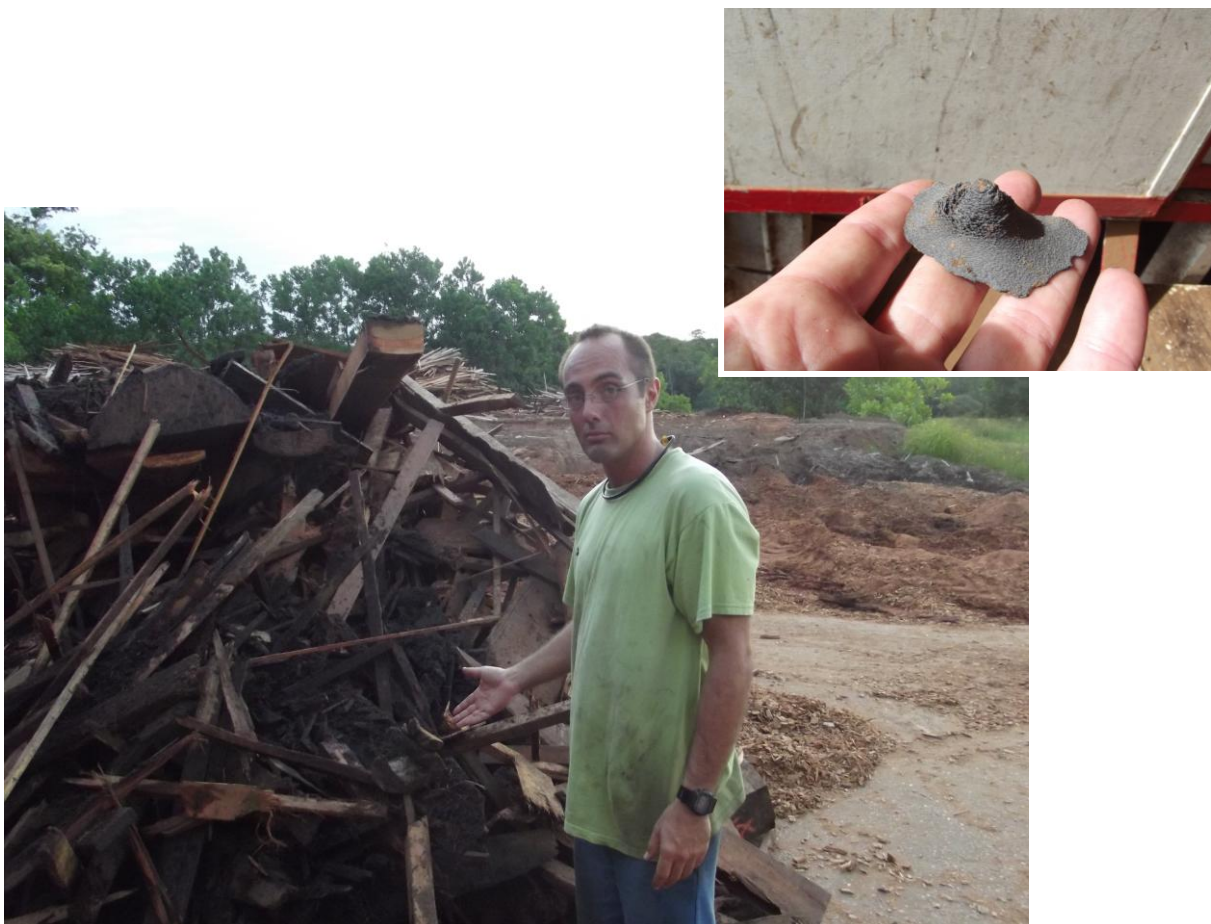


Figure 6. Exemple d'une livraison de connexes d'une scierie de Guyane à BEK (Bois Energie Kourou) extrêmement chargée en particules, fines, poussières et sables, mais présentant également des morceaux de ferrailles et de céramiques. Source : SIMA-PECAT et VOLTALIA (Laurent CORDOLIANI).

Plusieurs types de cendres dans une installation biomasse :

Il faut distinguer différentes formes de cendres, produites en différentes étapes et endroits du process de la centrale.

Ainsi, pour schématiser, nous pouvons considérer les cendres sous foyer et les cendres volantes. La cendre sous foyer se récupère sous le foyer (voir également dans un condensateur cyclonique additionnel), alors que la cendre volante se colmate dans la cheminée ou sur un filtre de récupération :

- Les cendres volantes sont de la poussière minérale qui s'agrège à la phase gazeuse lors de la combustion. Les cendres volantes sont potentiellement plus chargées en ETM. Les cendres volantes sont riches en silicium, aluminium, oxyde de fer.
- Les cendres sous foyer ont une granulométrie plus grossière (grains pouvant dépasser 1 mm) que les cendres volantes (<100 micron).

Quand les cendres sont gérées comme déchet en métropole (donc n'entrant pas dans une logique plan d'épandage agricole), les volantes sont généralement stockées séparément des cendres sous foyer, à l'abri de la pluie et du vent.

Il s'opère d'ailleurs une différence de coût d'entreposage des cendres notable :

- il faut compter entre 140 et 160 euros pour les cendres volantes.
- il faut compter 80 à 100 euros pour les cendres sous foyer.
- en Guyane le coût devrait être aux alentours de 92 euros la tonne pour les deux types de cendres, les décharges n'étant pas adaptées pour les volantes.

Par ailleurs selon la technologie employée, le pourcentage de cendres volantes par rapport aux cendres sous foyer peut différer fortement. On peut généralement avoir une fourchette comprise entre 10% et 40% de volantes (et donc 60 à 90% de cendres sous foyer), alors qu'avec la technologie sur lit fluidisé on aura des valeurs plus hautes de cendres volantes.