



Promoting the penetration of agrobiomass heating in European rural areas

Livrable 6.3 : Supports pour contenus de formation

Premier contributeur :



Auteurs principaux :

Alessandro Carmona (CIRCE)

Jaime Guerrero (CIRCE)

Clara A. Jarauta Córdoba (CIRCE)



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement No 818369. This document reflects only the author's view. The European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA) is not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Fiche d'information du livrable	
Titre complet	Supports pour contenus de formation
Numéro du livrable	D6.3
Work Package	WP6 Market penetration, sector empowerment, multiplication & visualization
Tâche	T6.5 Capacity building (trainings)
Premier contributeur	CIRCE
Auteurs principaux	Alessandro Carmona (CIRCE), Jaime Guerrero (CIRCE), Clara A. Jarauta Córdoba (CIRCE) et Antoine Quévieux (AILE), Béatrice Mégret (AILE) pour la traduction en français
Version	V8 French
Date	31 mars 2022
Niveau de dissémination	
X	PU - Public
	PP - Restricted to other programme participants (including the EC)
	RE - Restricted to a group specified by the consortium (including the EC)
	CO - Confidential, only for members of the consortium (including the EC)
Approbation	
Task Leader	CIRCE
WP Leader	FBCD
Relecteurs	CERTH, BIOS, AILE, ZEZ, UABIO, GEA, Agronergy

Ce projet a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre du contrat de subvention n° 818369.

Ce document a été préparé par les partenaires du projet AgroBioHeat en tant que compte rendu des travaux réalisés dans le cadre du contrat CE-GA n° 818369.

Ni le coordinateur du projet, ni aucune partie signataire de l'accord de consortium du projet AgroBioHeat, ni aucune personne agissant au nom de l'un d'entre eux :

- a. ne donne aucune garantie ou représentation, quelle qu'elle soit, expresse ou implicite,
 - en ce qui concerne l'utilisation de toute information, appareil, méthode, procédé ou élément similaire divulgué dans le présent document, y compris la qualité marchande et l'adéquation à un usage particulier, ou
 - qu'une telle utilisation n'enfreint pas ou n'interfère pas avec des droits de propriété privée, y compris la propriété intellectuelle de toute partie, ou
 - que le présent document est adapté à la situation d'un utilisateur particulier ; ou

- b. assume la responsabilité de tout dommage ou autre responsabilité de quelque nature que ce soit (y compris les dommages indirects, même si le coordinateur du projet ou tout représentant d'une partie signataire de l'accord de consortium du projet AgroBioHeat a été informé de la possibilité de tels dommages) résultant de votre sélection ou de l'utilisation de ce document ou de toute information, appareil, méthode, processus ou élément similaire divulgué dans ce document.

Sommaire :

- 1. Types d'agrobiomasse**
- 2. La combustion de la biomasse**
- 3. Technologies pour la combustion de l'agro-biomasse**
 - 3.1 Différents types de technologies
 - 3.2 Les principales innovations
 - 3.3 Retours d'expérience positifs
- 4. Exploitation d'installations d'agrobiomasse**
 - 4.1 Problèmes techniques couramment rencontrés et leurs solutions
 - 4.2 Agroénergie : "concevoir pour résoudre les problèmes"
- 5. Émissions générées par la combustion de l'agro-biomasse**
 - 5.1 Types de composés, problèmes associés et limites d'émission
 - 5.2 Cadre réglementaire
- 6. Types et sources de matières premières et logistique de collecte**
 - 6.1 Localisation des matières premières (outils utiles et cartographie)
 - 6.2 Logistique de collecte
 - 6.3 Coûts de la collecte et machines nécessaires

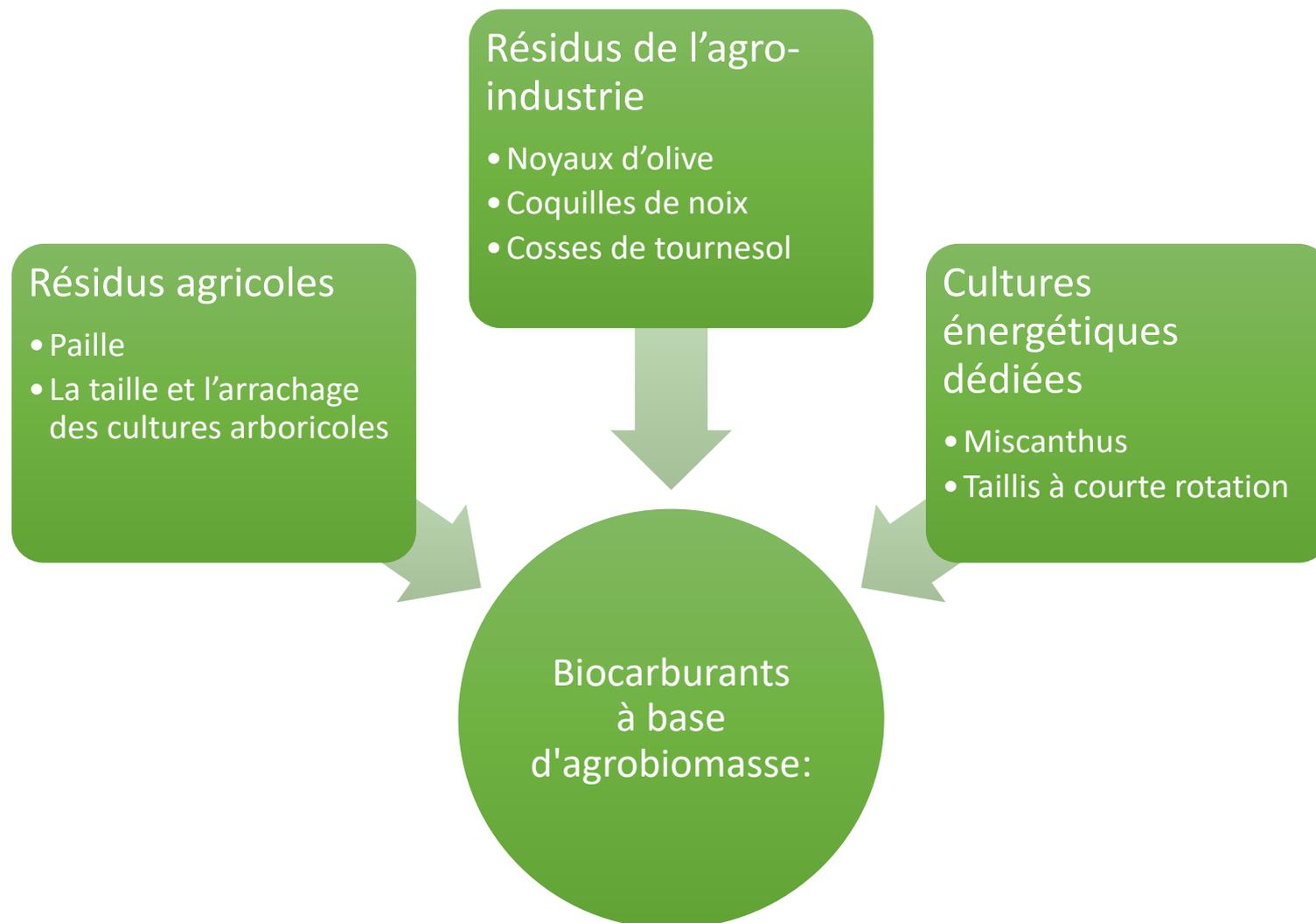




Sommaire :



- 1. Types d'agrobiomasse**
- 2. La combustion de la biomasse**
- 3. Technologies pour la combustion de l'agro-biomasse**
 - 3.1 Différents types de technologies
 - 3.2 Les principales innovations
 - 3.3 Retours d'expérience positifs
- 4. Exploitation d'installations d'agrobiomasse**
 - 4.1 Problèmes techniques couramment rencontrés et leurs solutions
 - 4.2 Agroénergie : "concevoir pour résoudre les problèmes"
- 5. Émissions générées par la combustion de l'agro-biomasse**
 - 5.1 Types de composés, problèmes associés et limites d'émission
 - 5.2 Cadre réglementaire
- 6. Types et sources de matières premières et logistique de collecte**
 - 6.1 Localisation des matières premières (outils utiles et cartographie)
 - 6.2 Logistique de collecte
 - 6.3 Coûts de la collecte et machines nécessaires



- L'un des résidus agricoles les plus abondants. Constitué de tiges sèches de plantes céréalières - Particulièrement pertinent au Danemark en raison de son utilisation actuelle et en Espagne et en Ukraine en raison du potentiel détecté.
- Forme : Balles
- Rendements : 2,5-4 tonnes (matière sèche) / hectare
- Utilisation : Production directe d'électricité ou de chaleur
- Potentiel : 127 millions de tonnes de matière sèche dans l'UE



Propriétés indicatives de la paille en tant qu'agro-combustible

Propriété	Unité	Paille de blé
Humidité, H	w-% a.r.	15
Taux de cendres	w-% d.b.	5.0
Pouvoir Calorifique Inférieur, PCI	MJ/kg a.r.	14.6
Masse volumique, MV	kg/m ³ a.r.	100 (balles) / 60 (broyée)
Densité énergétique	MWh/m ³ a.r.	0.41 (balles) / 0.24 (broyée)
Azote, N	w-% d.b.	0.5
Soufre, S	w-% d.b.	0.1
Chlore, Cl	w-% d.b.	0.4
Calcium, Ca	mg/kg d.b.	4,000
Potassium, K	mg/kg d.b.	10,000
Sodium, Na	mg/kg d.b.	500
Silice, Si	mg/kg d.b.	10,000

Note: valeurs indicatives

Source : AgroBioHeat D4.2 – Agro-combustibles et technologies associées

Source d'information additionnelle :

Annex B de EN ISO 17225-1

- Pratique horticole établie consistant à couper et à enlever des parties sélectionnées d'un arbre. Les parties épaisses du bois de taille peuvent être collectées séparément et utilisées comme bois de chauffage dans certains cas ; cependant, la plupart de la biomasse de taille est laissée sur le terrain et est soit brûlée dans des feux ouverts, soit - plus rarement – utilisée en paillage de sol.
- L'arrachage est l'élimination des arbres à la fin de la durée de vie d'une plantation.
- Forme : Taille – Balles ou bois-énergie; Arrachage – bois de chauffage ou bois-énergie
- Rendement : Taille : 1-5 tonnes (matière sèche)/hectare; Arrachage : 50 tonnes /hectare
- Utilisation : Principalement sous-utilisé
- Potentiel : 11,5 Mt de matière sèche dans l'UE



Propriétés indicatives des résidus de taille agricole en tant qu'agro-combustible

Propriété	Unité	Bois-énergie issu de taille d'oliviers	Granulés issus de la taille des vignobles
Humidité, H	w-% a.r.	27	10
Taux de cendres	w-% d.b.	4.2	4.5
Pouvoir Calorifique Inférieur, PCI	MJ/kg a.r.	12.9	15.7
Masse volumique, MV	kg/m ³ a.r.	230	710
Densité énergétique	MWh/m ³ a.r.	0.83	3.10
Azote, N	w-% d.b.	0.93	0.81
Soufre, S	w-% d.b.	0.08	0.07
Chlore, Cl	w-% d.b.	0.04	0.02
Calcium, Ca	mg/kg d.b.	9,000	10,000
Potassium, K	mg/kg d.b.	5,600	5,400
Sodium, Na	mg/kg d.b.	460	170
Silice, Si	mg/kg d.b.	2,100	2,800

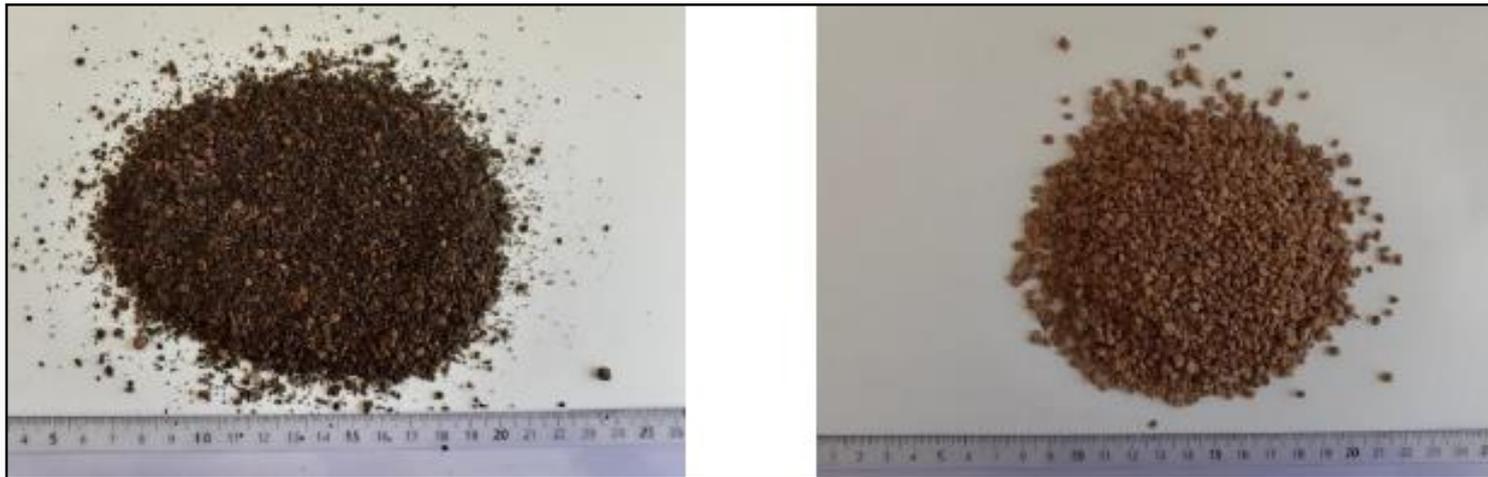
Note: valeurs indicatives

Source: AgroBioHeat D4.2 – Agrobiomass Fuels and Utilization Systems

Sources of additional information:

Annex B of EN ISO 17225-1, Deliverable D3.2 of the Biomass Plus project

- Le grignon d'olive est un sous-produit du processus d'extraction de l'huile d'olive. Il peut être utilisé comme combustible industriel mais a des limites. Les noyaux d'olive pourraient être utilisés pour le chauffage domestique.
- Forme : broyat granuleux
- Rendement : 10-20 % du fruit complet
- Utilisation : Chauffage (industriel ou domestique) + production de charbon actif
- Potentiel : 770 000 tonnes sèches (dans l'UE)
- Certification: BIOmasud



Propriétés indicatives des noyaux d'olive en tant qu'agro-combustible

Propriété	Unité	Noyaux d'olive	BIOmasud® limites des classes (v15.0)		
			A1	A2	B
Humidité, H	w-% a.r.	15	≤ 12	≤ 12	≤ 16
Taux de cendres	w-% d.b.	1.2	≤ 0.7	≤ 1.0	≤ 1.5
Pouvoir Calorifique Inférieur, PCI	MJ/kg a.r.	15.8	≥ 15.7	≥ 15.7	≥ 14.9
Masse volumique, MV	kg/m ³ a.r.	730	≥ 700	≥ 650	≥ 600
Densité énergétique	MWh/m ³ a.r.	3.20	≥ 3.05*	≥ 2.83*	≥ 2.48*
Azote, N	w-% d.b.	0.3	≤ 0.3	≤ 0.4	≤ 0.6
Soufre, S	w-% d.b.	0.02	≤ 0.03	≤ 0.04	≤ 0.05
Chlore, Cl	w-% d.b.	0.1	≤ 0.03	≤ 0.04	≤ 0.05
Calcium, Ca	mg/kg d.b.	1,300	-	-	-
Potassium, K	mg/kg d.b.	2,300	-	-	-
Sodium, Na	mg/kg d.b.	600	-	-	-
Silice, Si	mg/kg d.b.	900	-	-	-

Source: AgroBioHeat D4.2 – Agrobiomass Fuels and Utilization Systems

Note: valeurs indicatives

Sources of additional information:

Annex B of EN ISO 17225-1, Deliverable D3.2 of the Biomass Plus project

- Sous-produit de l'industrie du décorticage des noix, noisettes, amandes et autres fruits secs. Bonne teneur énergétique et faible teneur en humidité et en cendres.
- Forme : Broyat granulaire
- Rendement : 50 % du poids de la noisette
- Utilisation : Chauffage (industriel ou domestique) + production de charbon actif, de furfural et de couvert pour les sols
- Potentiel : 270 000 tonnes sèches (dans l'UE)
- Certification: BIOmasud



Propriétés indicatives des coquilles d'amandes en tant qu'agro-combustible

Propriété	Unité	Coquilles d'amande	BIOmasud® class limits (v15.0)		
			A1	A2	B
Humidité, H					
Taux de cendres	w-% a.r.	11	≤ 12	≤ 12	≤ 16
Pouvoir Calorifique Inférieur, PCI	w-% d.b.	1.6	≤ 0.7	≤ 1.5	≤ 2.0
Masse volumique, MV	MJ/kg a.r.	16.1	≥ 15.0	≥ 15.0	≥ 14.2
Densité énergétique	kg/m ³ a.r.	410	≥ 500	≥ 300	≥ 270
Azote, N	MWh/m ³ a.r.	1.83	≥ 2.08*	≥ 1.25*	≥ 1.07*
Soufre, S	w-% d.b.	0.4	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.8
Chlore, Cl	w-% d.b.	0.01	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.04
Calcium, Ca	w-% d.b.	0.02	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.03
Potassium, K	mg/kg d.b.	1,300	-	-	-
Sodium, Na	mg/kg d.b.	4,600	-	-	-
Silice, Si	mg/kg d.b.	2,500	-	-	-
Azote, N	mg/kg d.b.	630	-	-	-

Note: indicative values shown

Source: AgroBioHeat D4.2 – Agrobiomass Fuels and Utilization Systems

Sources of additional information:

Annex B of EN ISO 17225-1, Deliverable D3.2 of the Biomass Plus project

- Plante oléagineuse herbacée, sous-produit du processus d'extraction de l'huile de tournesol. Contenu énergétique élevé, prix bas et densité énergétique élevée.
- Forme : Combustible granulaire ou transformé en pellets
- Rendement : 20-30% du poids total des graines traitées
- Utilisation : combustible industriel pour le chauffage et la production d'électricité
- Potentiel : 18 millions d'hectares



Propriétés indicatives des cosses de tournesol en tant qu'agro-combustible

Propriété	Unité	Cosse de tournesol
Humidité, H	w-% a.r.	10
Taux de cendres	w-% d.b.	4.0
Pouvoir Calorifique Inférieur, PCI	MJ/kg a.r.	15.7
Masse volumique, MV	kg/m ³ a.r.	550
Densité énergétique	MWh/m ³ a.r.	2.40
Azote, N	w-% d.b.	0.8
Soufre, S	w-% d.b.	0.1
Chlore, Cl	w-% d.b.	0.06
Calcium, Ca	mg/kg d.b.	5,000
Potassium, K	mg/kg d.b.	11,000
Sodium, Na	mg/kg d.b.	50
Silice, Si	mg/kg d.b.	600

Note: indicative values shown

Source: AgroBioHeat D4.2 – Agrobiomass Fuels and Utilization Systems

- Plantes cultivées spécifiquement pour leur valeur énergétique
- ABH se concentrent sur ceux utilisés dans les processus de conversion thermo-chimique
- Elles peuvent être herbacées (miscanthus) ou ligneuses (peuplier, saule).
- Adaptable à différentes conditions climatiques et pédologiques



- 17 espèces de hautes herbes rhizomateuses non ligneuses.
- Adaptation remarquable à différents climats et résistance aux maladies et aux parasites.
- Forme : Fauché ou en balles, en copeaux. Également transformé en pellets/briquettes
- Rendement : variable. 10 t de matière sèche/hectare
- Usage : Combustible destiné à la combustion pour produire de la chaleur, de l'électricité ou de la cogénération.
- Potentiel : Au moins 24 620 hectares en Europe, avec un rendement compris entre 10 et 50 tdm/ha-an selon le moment de la récolte, le sol, les conditions climatiques et les pratiques de gestion*.



Propriétés indicatives du miscanthus en tant qu'agro-combustible

Propriété	Unité	Miscanthus
Humidité, H	w-% a.r.	15
Taux de cendres	w-% d.b.	4.0
Pouvoir Calorifique Inférieur, PCI	MJ/kg a.r.	14.7
Masse volumique, MV	kg/m ³ a.r.	130 (chopped)
Densité énergétique	MWh/m ³ a.r.	0.53 (chopped)
Azote, N	w-% d.b.	0.7
Soufre, S	w-% d.b.	0.2
Chlore, Cl	w-% d.b.	0.2
Calcium, Ca	mg/kg d.b.	2,000
Potassium, K	mg/kg d.b.	7,000
Sodium, Na	mg/kg d.b.	70
Silice, Si	mg/kg d.b.	8,000

Note: indicative values shown

Source: AgroBioHeat D4.2 – Agrobiomass Fuels and Utilization Systems

- Arbres ligneux à croissance rapide - rendement élevé de la biomasse sur de courtes périodes.
- Saule, peuplier et aulne ou eucalyptus. Cycles triennaux sur 20-25 ans.
- Forme : Copeaux, granulés
- Rendement : variable. 5-18 tonnes de matière sèche/hectare
- Utilisation : Procédés de combustion. Également industrie de la pâte et du papier.
- Potentiel : 206 910 ha de peupliers (rendement moyen en biomasse sèche de 5,3 tonnes/ha-an *) et 19 378 ha de saules (rendement moyen en biomasse sèche de 6,6 tonnes/ha-an **).
- Certification : Enplus (granulés de bois TCR) et GoodChips (plaquettes de bois TCR)



AgroBioHeat D4.2 – Agrobiomass Fuels and Utilization Systems

*Dillen, S.Y. et al., Biomass and Bioenergy, 56 (2013) 157-165

**Kulig B., et al., Plant Soil Environ., 65 (2019):377-386.

Propriétés indicatives des TCR en tant qu'agro-combustible

Propriété	Unit	Willow & Poplar
Humidité, H	w-% a.r.	50 (fresh)
Taux de cendres	w-% d.b.	2.0
Pouvoir Calorifique Inférieur, PCI	MJ/kg a.r.	8.0
Masse volumique, MV	kg/m ³ a.r.	250 (chips)
Densité énergétique	MWh/m ³ a.r.	0.56 (chips)
Azote, N	w-% d.b.	0.5
Soufre, S	w-% d.b.	0.04
Chlore, Cl	w-% d.b.	0.02
Calcium, Ca	mg/kg d.b.	5,000
Potassium, K	mg/kg d.b.	2,500
Sodium, Na	mg/kg d.b.	25
Silice, Si	mg/kg d.b.	500

Note: indicative values shown

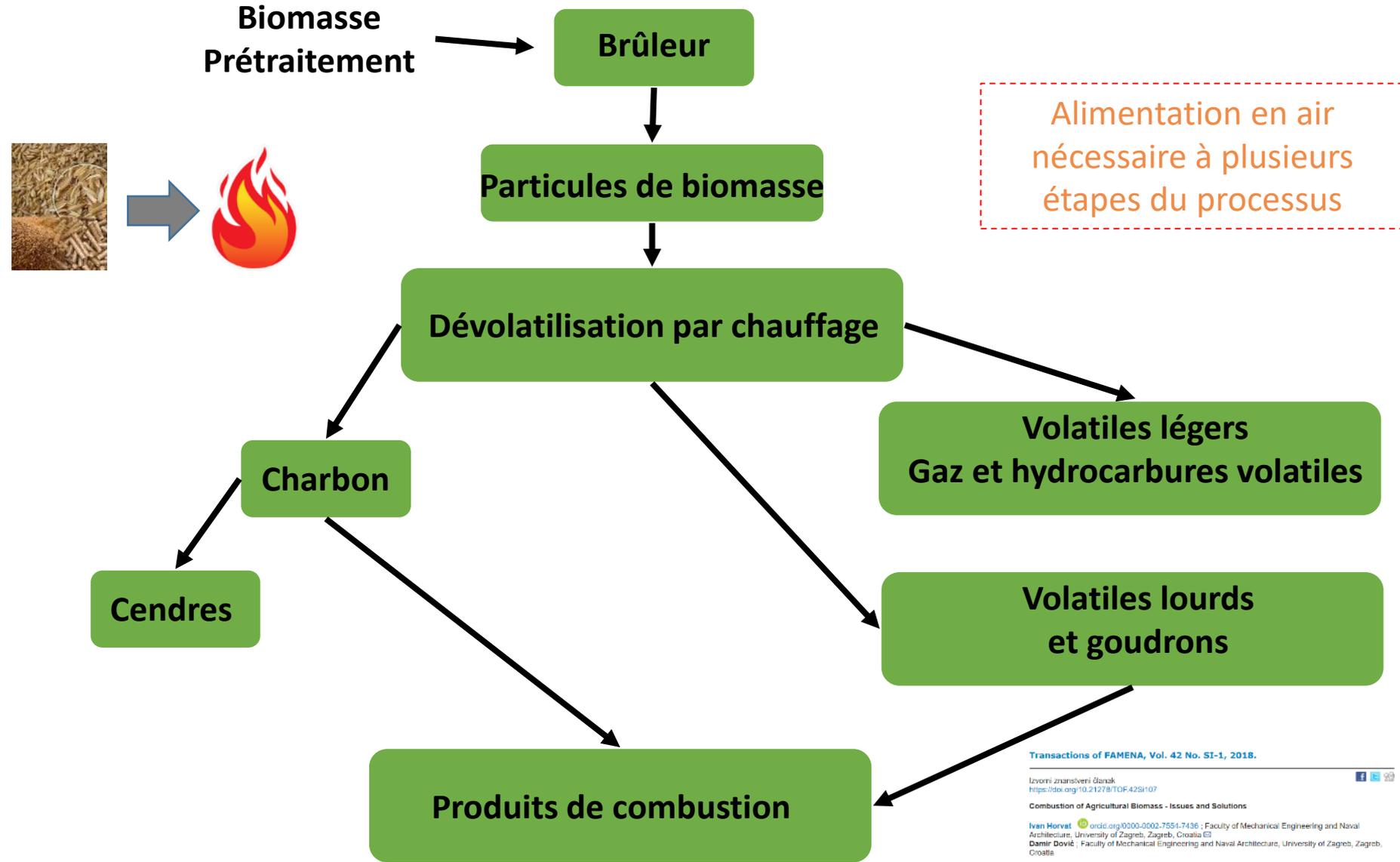
Source: AgroBioHeat D4.2 – Agrobiomass Fuels and Utilization Systems

Sommaire :



1. Types d'agrobiomasse
2. **La combustion de la biomasse**
3. **Technologies pour la combustion de l'agro-biomasse**
 - 3.1 Différents types de technologies
 - 3.2 Les principales innovations
 - 3.3 Retours d'expérience positifs
4. **Exploitation d'installations d'agrobiomasse**
 - 4.1 Problèmes techniques couramment rencontrés et leurs solutions
 - 4.2 Agroénergie : "concevoir pour résoudre les problèmes"
5. **Émissions générées par la combustion de l'agro-biomasse**
 - 5.1 Types de composés, problèmes associés et limites d'émission
 - 5.2 Cadre réglementaire
6. **Types et sources de matières premières et logistique de collecte**
 - 6.1 Localisation des matières premières (outils utiles et cartographie)
 - 6.2 Logistique de collecte
 - 6.3 Coûts de la collecte et machines nécessaires





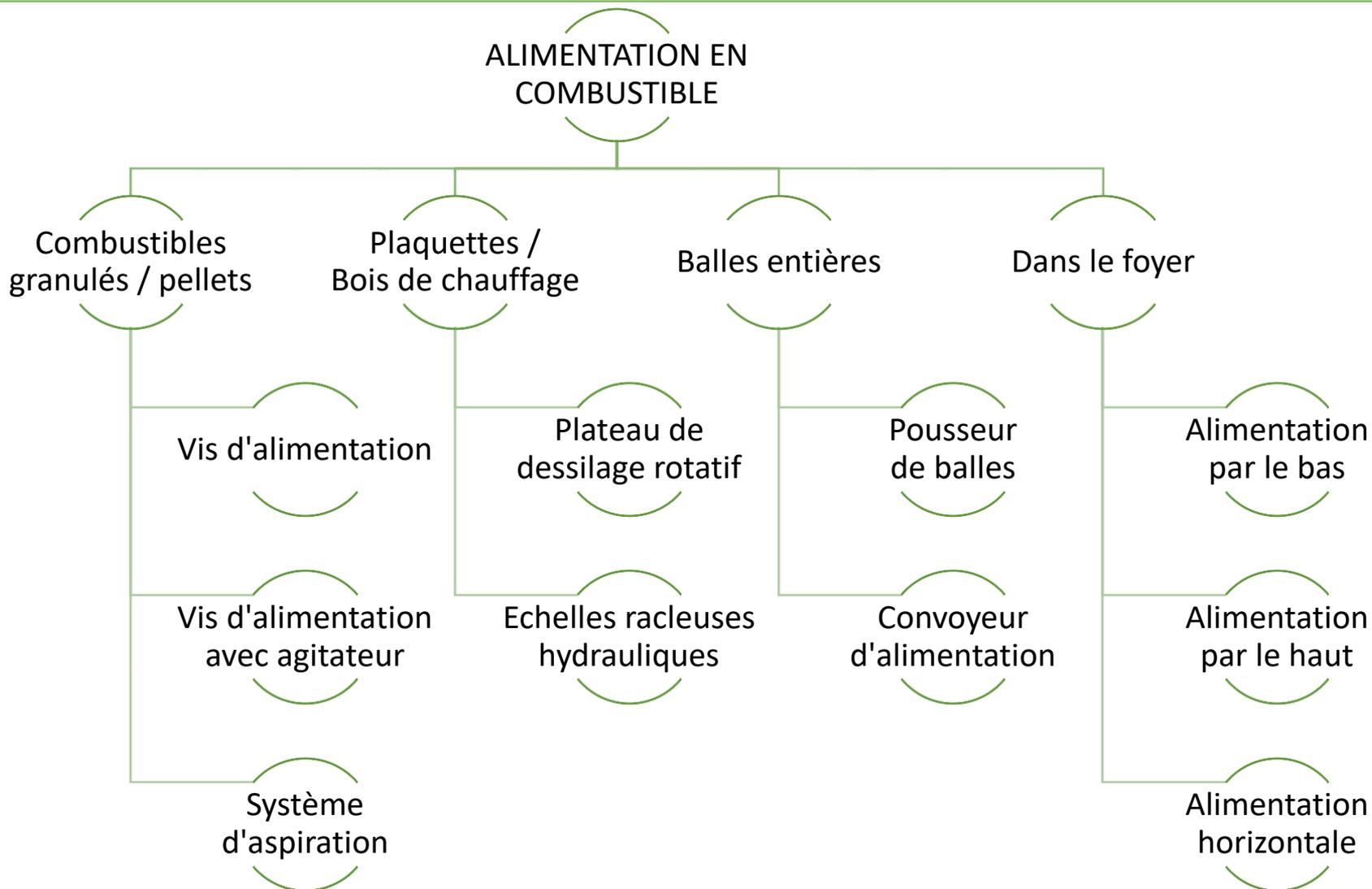
Alimentation en air
nécessaire à plusieurs
étapes du processus

Transactions of FAMENA, Vol. 42 No. SI-1, 2018.
Izvorni znanstveni članak
<https://doi.org/10.21278/TOP-42SI107>
Combustion of Agricultural Biomass - Issues and Solutions
Ivan Horvat  orcid.org/0000-0002-7554-7436 ; Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Zagreb, Croatia 
Damir Dović ; Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Zagreb, Croatia
Puni tekst: engleski, pdf (1 MB) str: 75-86 presuzmora: IISIP* citiraj

Sommaire :

1. **Types d'agrobiomasse**
2. **La combustion de la biomasse**
3. **Technologies pour la combustion de l'agro-biomasse**
 - 3.1 Différents types de technologies**
 - 3.2 Les principales innovations
 - 3.3 Retours d'expérience positifs
4. **Exploitation d'installations d'agrobiomasse**
 - 4.1 Problèmes techniques couramment rencontrés et leurs solutions
 - 4.2 Agroénergie : "concevoir pour résoudre les problèmes"
5. **Émissions générées par la combustion de l'agro-biomasse**
 - 5.1 Types de composés, problèmes associés et limites d'émission
 - 5.2 Cadre réglementaire
6. **Types et sources de matières premières et logistique de collecte**
 - 6.1 Localisation des matières premières (outils utiles et cartographie)
 - 6.2 Logistique de collecte
 - 6.3 Coûts de la collecte et machines nécessaires





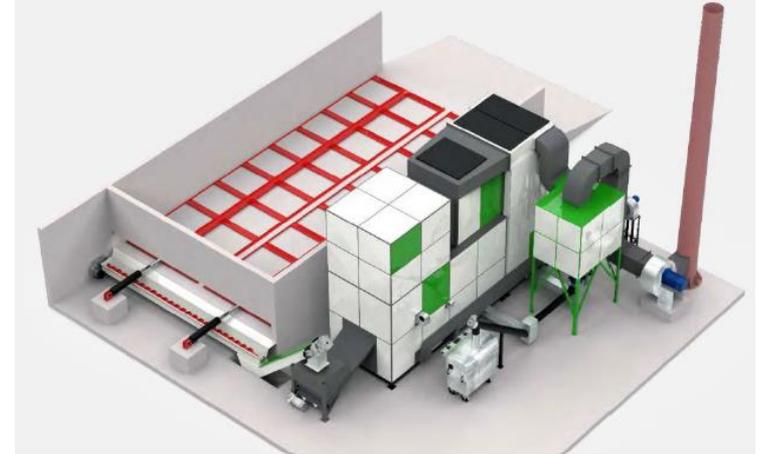
D4.2 Agrobiomass fuels and utilization system - Agrobioheat

- Systèmes d'alimentation pour combustibles granulés/pellets
 - Vis d'alimentation
 - Vis d'alimentation avec agitateur
 - Système d'aspiration

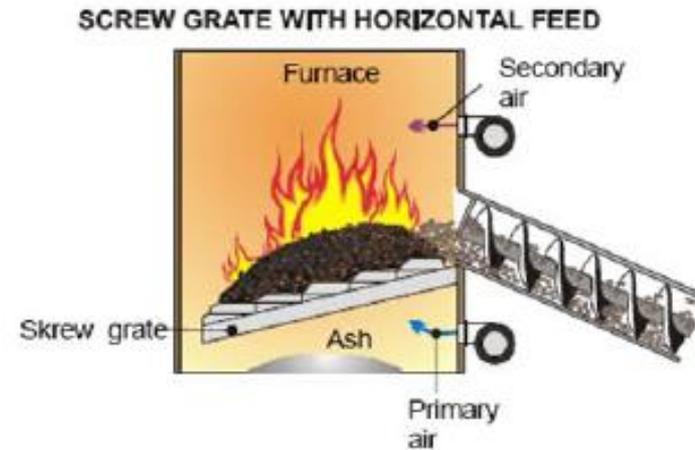
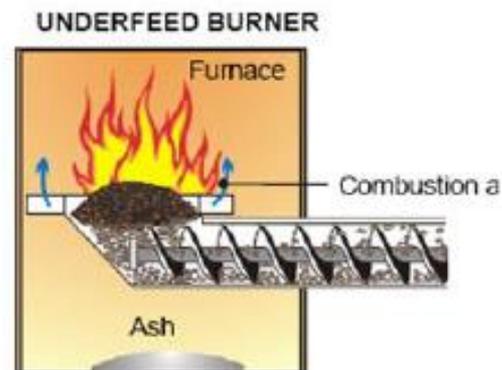
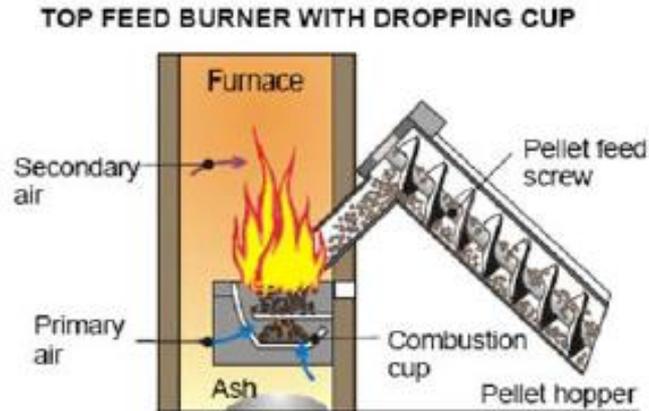


- Système d'alimentation pour plaquettes / bois de chauffage
 - Plateau dessileur rotatif
 - Echelles racleuses hydrauliques

- Systèmes d'alimentation pour balles entières
 - Pousseur de balles avec piston hydraulique
 - Balles qui se déplacent sur un convoyeur d'alimentation jusqu'à un broyeur, puis jusqu'à la chaudière via une vis d'alimentation
 - Système semi-continu



- Système d'alimentation en combustible du foyer



- Systèmes de combustion :

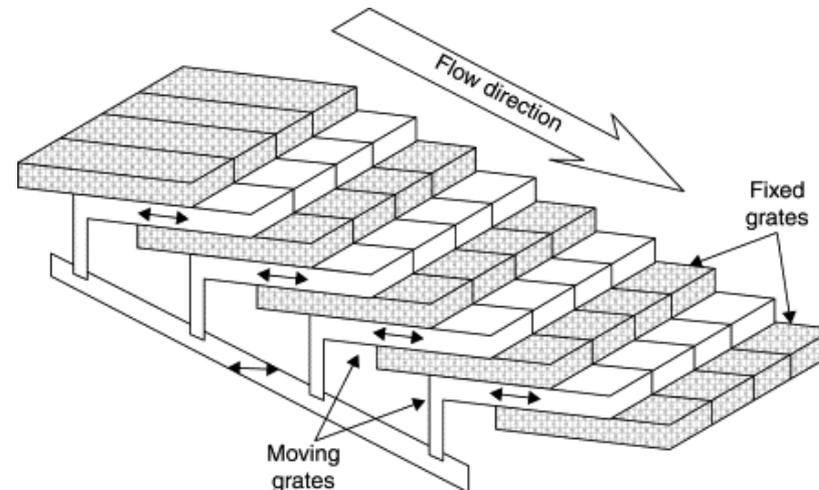
- Lit fixe
 - Grilles fixes
 - Grilles mobiles
 - Grilles à déplacement
 - Grilles rotatives
 - Grilles vibrantes
 - Dispositif d'alimentation par le bas
- Lit fluidisé
- Combustion pulvérisée



- Combustion à lit fixe : pour les systèmes de combustion de biomasse de petite et moyenne taille. Elle peut brûler une large gamme de combustibles et nécessite moins de préparation et de manipulation du combustible..
 - Grilles fixes : La technologie la plus simple, utilisée uniquement dans les applications à petite échelle.



- Combustion à lit fixe : pour les systèmes de combustion de biomasse de petite et moyenne taille. Elle peut brûler une large gamme de combustibles et nécessite moins de préparation et de manipulation du combustible. .
- Grilles mobiles : Vitesse et efficacité de combustion plus élevées - le combustible solide se déplace sur la grille de la section d'entrée à la section d'évacuation des cendres.
 - Grilles mobiles
 - Grilles à mouvement alternatif : Horizontale, Inclinée ou combinée (inclinée + horizontale)
 - Grilles vibrantes



Exemple de grille à mouvement alternatif

- Combustion à lit fixe : pour les systèmes de combustion de biomasse de petite et moyenne taille. Elle peut brûler une large gamme de combustibles et nécessite moins de préparation et de manipulation du combustible.
- Systèmes de vis sans fin



- Combustion à lit fixe : pour les systèmes de combustion de biomasse de petite et moyenne taille. Elle peut brûler une large gamme de combustibles et nécessite moins de préparation et de manipulation du combustible.
 - Propulsion inférieure
 - Chaudières de gazéification



- Systèmes domestiques : Bien que les appareils modernes, tels que les chaudières à granulés de plus en plus populaires, aient un rendement pouvant atteindre 90 %, la grande majorité des appareils domestiques à biomasse utilisés sont des cuisinières traditionnelles à faible rendement (5-30 %) que l'on trouve principalement dans les pays en développement.

- Poêles

- Tirage vers le haut
- Tirage vers le bas
- Tirant d'air transversal

- Chaudières

- Over-fire
- Under-fire
- Tirage vers le bas

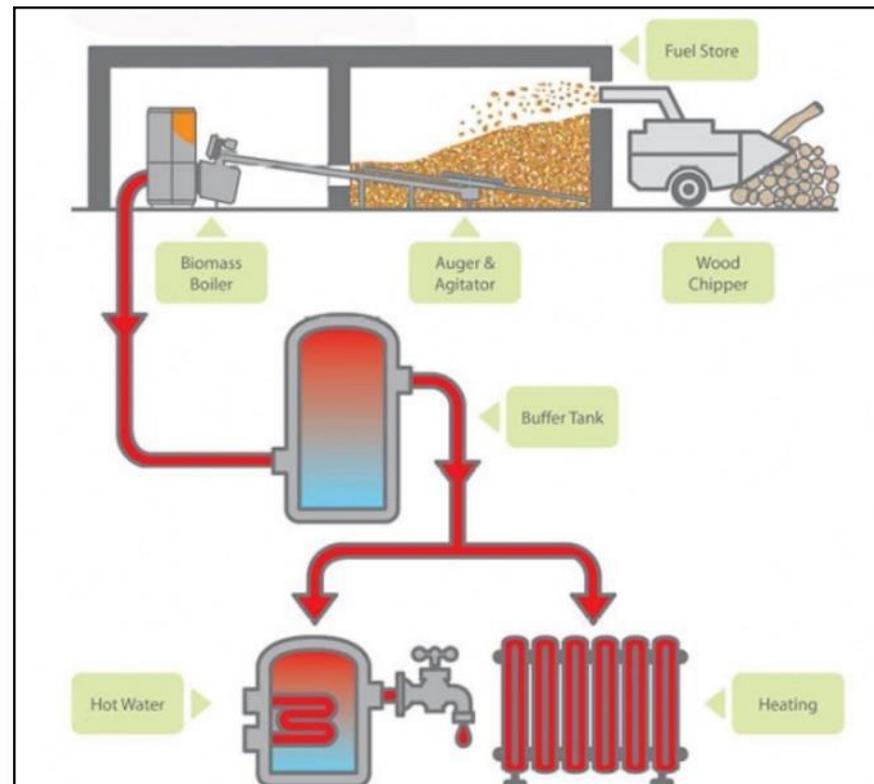


- Chaudières à granulés : elles présentent des avantages significatifs par rapport aux systèmes conventionnels de combustion de la biomasse, tels que la réduction des émissions et l'utilisation d'un combustible propre, facile à utiliser et à stocker.

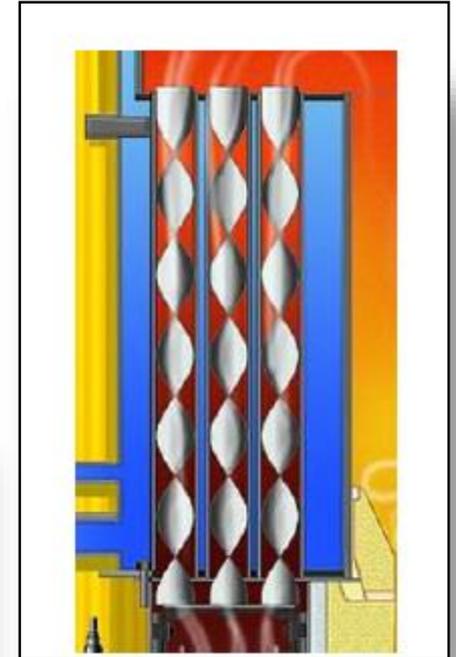
- Brûleur vertical
 - Alimentation par le haut
 - Alimentation par le bas
- Brûleur horizontal



- Chaudières à bois déchiqueté : En ce qui concerne les systèmes de petite puissance, les avantages des chaudières à bois déchiqueté par rapport aux chaudières à bois bûche sont le fonctionnement automatique et les faibles émissions dues à la combustion continue.



- ECHANGEUR DE CHALEUR
 - Nettoyage automatique de l'échangeur de chaleur
 - Basé sur des moyens mécaniques
 - Basé sur le soufflage d'air pressurisé



- L'évacuation des cendres est souvent considérée comme un problème majeur.
- Le système de déchargement est d'une grande importance.
- Cendres sous grille et cendres provenant du nettoyage de l'échangeur de chaleur : cendrier.
- Vis de déchargement qui achemine les cendres dans un conteneur.
- Des systèmes de compactage des cendres sont parfois appliqués.

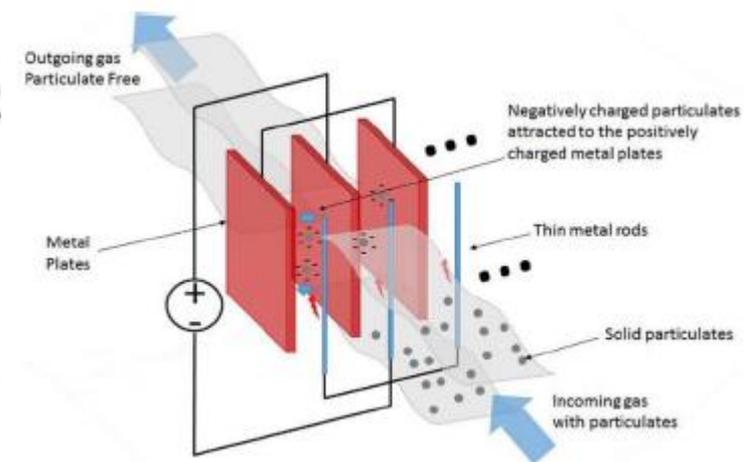
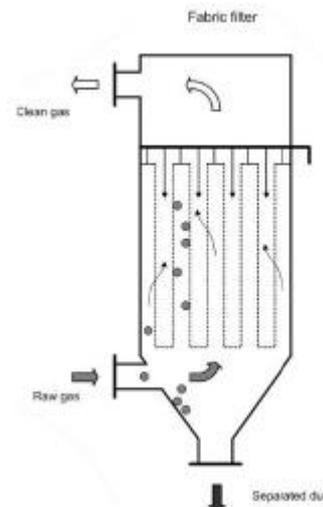
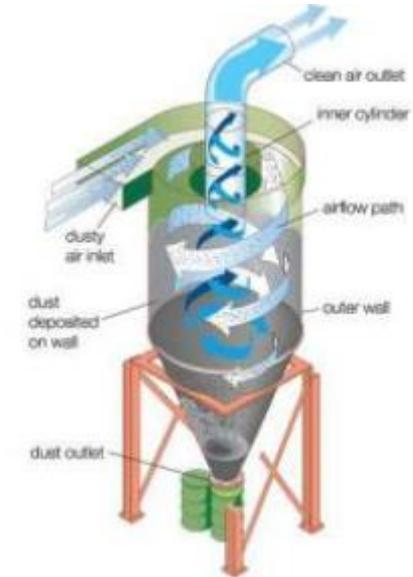


- **SYSTEME DE CONTROLE**

- Contrôle de la charge
- Contrôle de la combustion
- Contrôle de la température du foyer
- Contrôle de la dépression du foyer
- Boucles de contrôle nécessaires pour les aspects de sécurité du fonctionnement.

- **SYSTÈMES D'ÉPURATION DES GAZ DE COMBUSTION**

- Séparateur cyclonique
- Filtre à manches textiles
- Précipitateur électrostatique



Sommaire :

1. **Types d'agrobiomasse**
2. **La combustion de la biomasse**
3. **Technologies pour la combustion de l'agro-biomasse**
 - 3.1 Différents types de technologies
 - 3.2 Les principales innovations**
 - 3.3 Retours d'expérience positifs
4. **Exploitation d'installations d'agrobiomasse**
 - 4.1 Problèmes techniques couramment rencontrés et leurs solutions
 - 4.2 Agroénergie : "concevoir pour résoudre les problèmes"
5. **Émissions générées par la combustion de l'agro-biomasse**
 - 5.1 Types de composés, problèmes associés et limites d'émission
 - 5.2 Cadre réglementaire
6. **Types et sources de matières premières et logistique de collecte**
 - 6.1 Localisation des matières premières (outils utiles et cartographie)
 - 6.2 Logistique de collecte
 - 6.3 Coûts de la collecte et machines nécessaires





	Grille mobile	Concept de gazéification
Maturité du marché	Largement déployé/nombreux fabricants et modèles	Concept innovant / actuellement proposé par un nombre limité de fabricants
Capacité	~ 30 kW - 150 MW	~ 30 kW – 20 MW
Polluants non brûlés	Surplus d'air conventionnel	Surplus d'air extrême
Émissions de particules	Réduction supplémentaire grâce à des mesures secondaires (par ex : ESP, filtres à manches).	Faibles émissions obtenues sans avoir recours à des mesures secondaires
Emissions de NOx	Mesures primaires Des mesures secondaires peuvent s'appliquer au-dessus de l'échelle de 1 MW	Mesures primaires (possibilité de réduction supplémentaire par rapport aux systèmes à grilles)

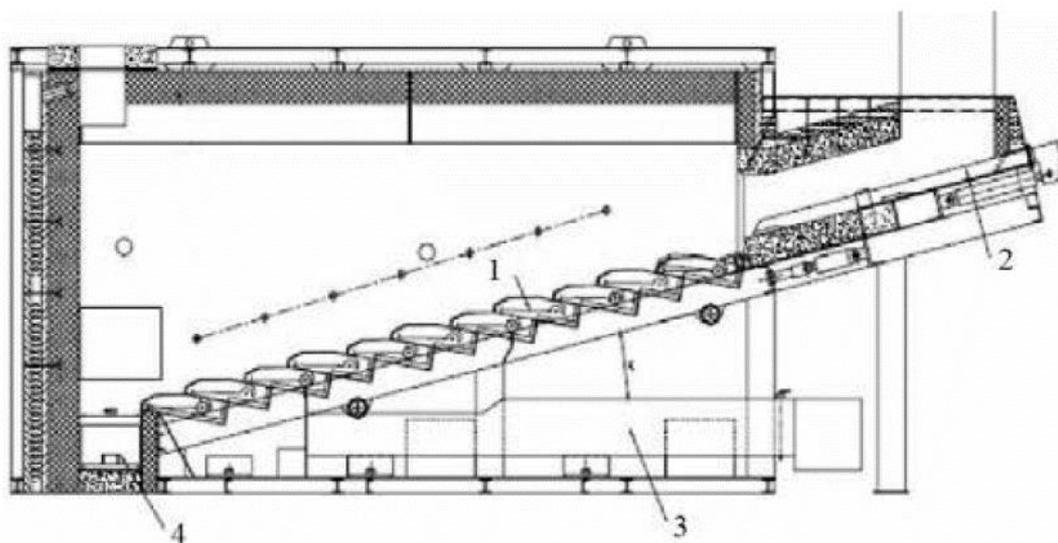
Images sources: Camino Design (left), Windhager (right)



	Grille mobile	Concept de gazéification
Maturité du marché	Largement déployé/nombreux fabricants et modèles	Concept innovant / actuellement proposé par un nombre limité de fabricants
Capacité	~ 30 kW - 150 MW	~ 30 kW – 20 MW
Polluants non brûlés	Surplus d'air conventionnel	Surplus d'air extrême
Émissions de particules	Réduction supplémentaire grâce à des mesures secondaires (par ex : ESP, filtres à manches).	Faibles émissions obtenues sans avoir recours à des mesures secondaires
Emissions de NOx	Mesures primaires Des mesures secondaires peuvent s'appliquer au-dessus de l'échelle de 1 MW	Mesures primaires (possibilité de réduction supplémentaire par rapport aux systèmes à grilles)

Images sources: Camino Design (left), Windhager (right)

- Les foyers à grille mobile ont généralement une grille inclinée composée de rangées fixes et mobiles de barreaux de grille.
- La biomasse est transportée le long de la grille par des mouvements horizontaux alternés d'avance et de recul des sections mobiles.
- La biomasse brûlée et la biomasse non brûlée sont mélangées.
- Les surfaces du lit de combustible sont renouvelées et une distribution plus uniforme de la biomasse sur la surface de la grille peut être obtenue. Important pour une répartition égale de l'air primaire sur le lit de biomasse



1. Grille mobile
2. Alimentation en biomasse
3. Canaux d'air primaire
4. Racleur à cendres

Image source: Krawczyk D., 2019, Buildings 2020+ . Energy sources, DOI: 10.24427/978-83-65596-73-4

- Habituellement, l'ensemble de la grille est divisé en plusieurs sections de grille, qui peuvent être déplacées à différentes vitesses en fonction des différentes étapes de la combustion.
- Le mouvement des barres de la grille est assuré par des cylindres hydrauliques.
- Les barreaux de la grille sont fabriqués en alliages d'acier résistant à la chaleur et équipés de petits canaux dans leurs parois latérales pour l'alimentation en air primaire.

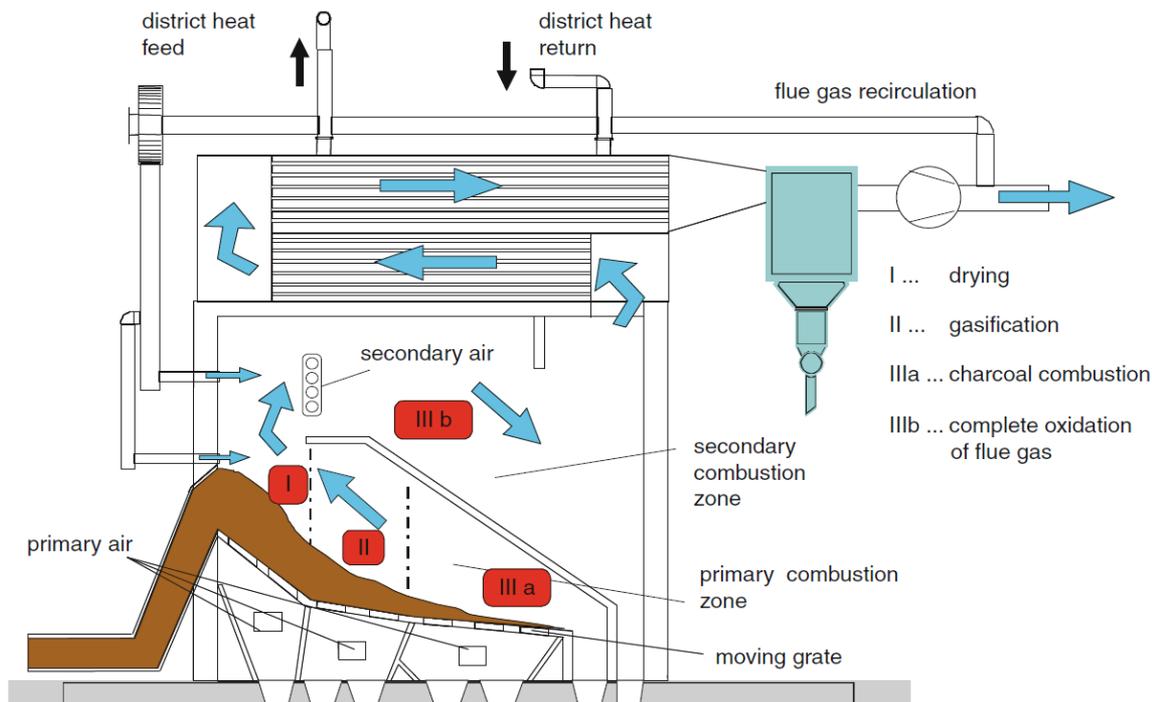
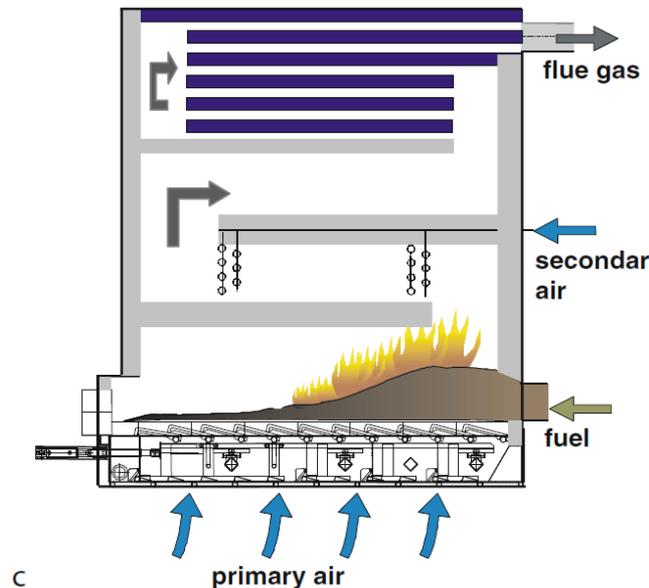
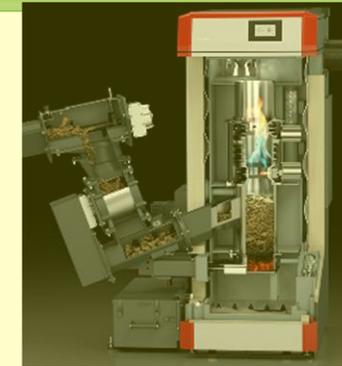


Image source: Obernberger, et al., "Biomass energy heat provision in modern large-scale systems." Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. Springer US, 2012

- Les grilles mobiles horizontales ont un lit de combustible complètement horizontal en raison de la position diagonale des barreaux de la grille.
- Les mouvements incontrôlés du combustible par gravité sur la grille sont empêchés.
- Répartition homogène du matériau sur la surface de la grille.
- Les scories ne se forment pas à cause des points chauds.
- Pour éviter que les cendres et le combustible ne tombent à travers les barreaux de la grille, ceux-ci doivent être placés de manière à ce qu'il n'y ait pas d'espace libre entre les barreaux.





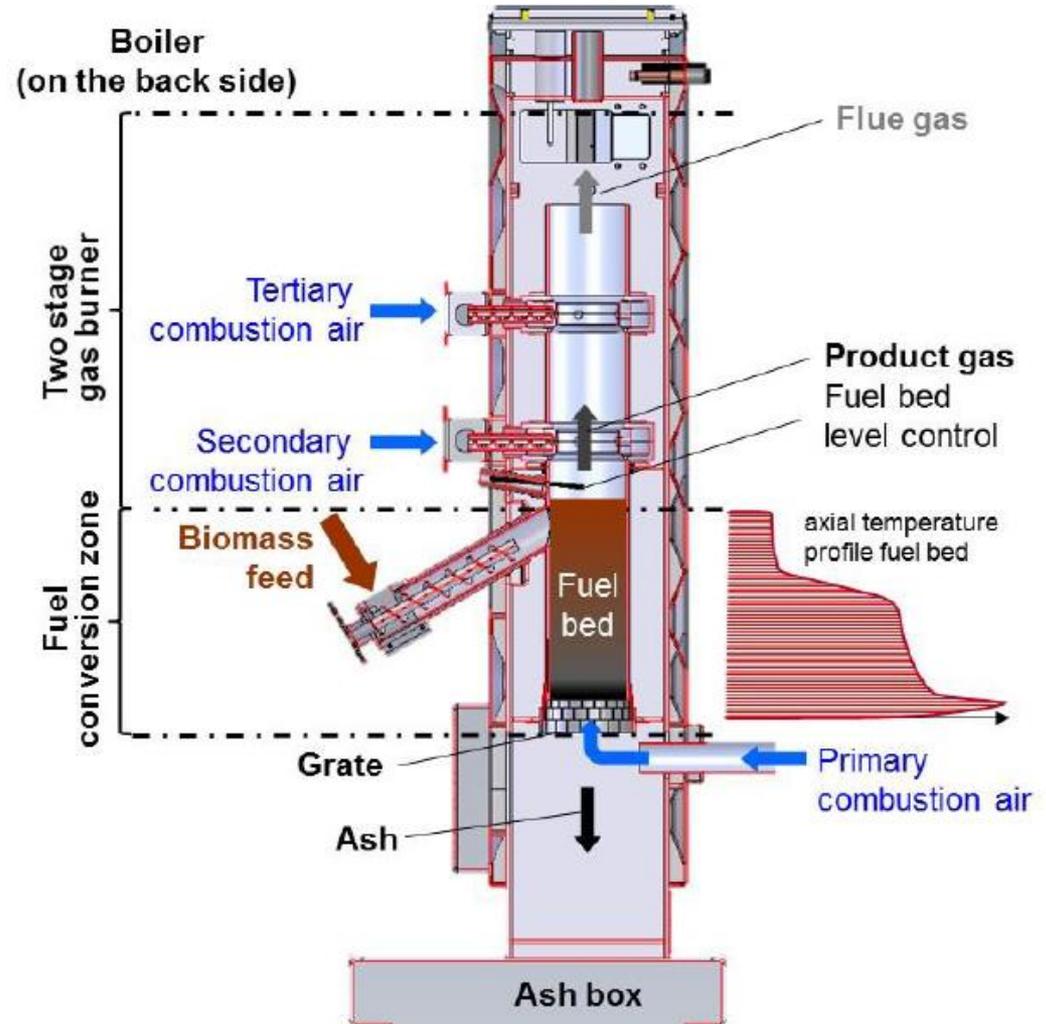
	Grille mobile	Concept de gazéification
Maturité du marché	Largement déployé/nombreux fabricants et modèles	Concept innovant / actuellement proposé par un nombre limité de fabricants
Capacité	~ 30 kW - 150 MW	~ 30 kW – 20 MW
Polluants non brûlés	Surplus d'air conventionnel	Surplus d'air extrême
Émissions de particules	Réduction supplémentaire grâce à des mesures secondaires (par ex : ESP, filtres à manches).	Faibles émissions obtenues sans avoir recours à des mesures secondaires
Emissions de NOx	Mesures primaires Des mesures secondaires peuvent s'appliquer au-dessus de l'échelle de 1 MW	Mesures primaires (possibilité de réduction supplémentaire par rapport aux systèmes à grilles)

Images sources: Camino Design (left), Windhager (right)

Vers une flexibilité accrue du combustible et des émissions nulles

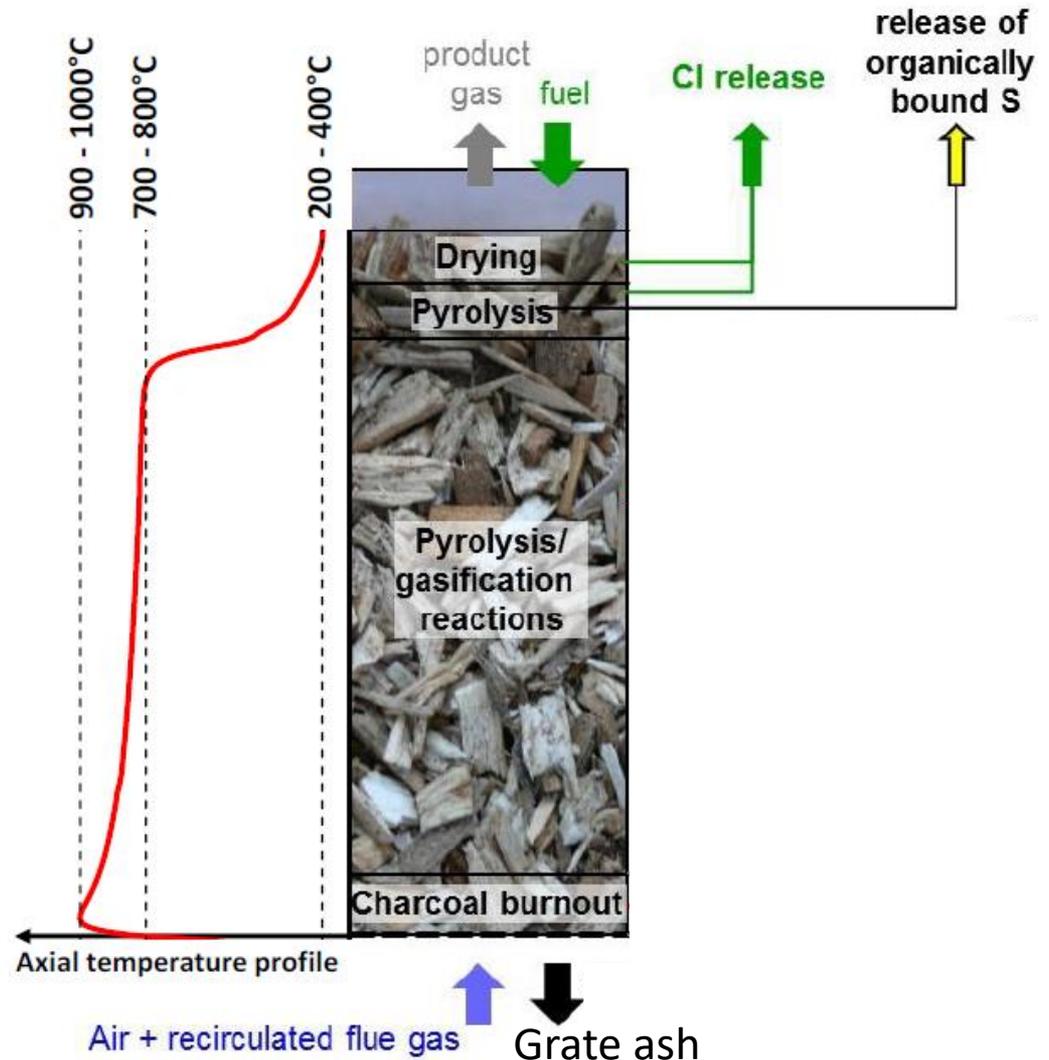
Excès d'air extrême

- Le combustible est alimenté par le haut
- L'air primaire passe vers le haut à travers le lit de combustible
- Le gaz produit en sortie du lit de combustible est brûlé dans un brûleur à gaz.



Zones avec des processus de conversion différents

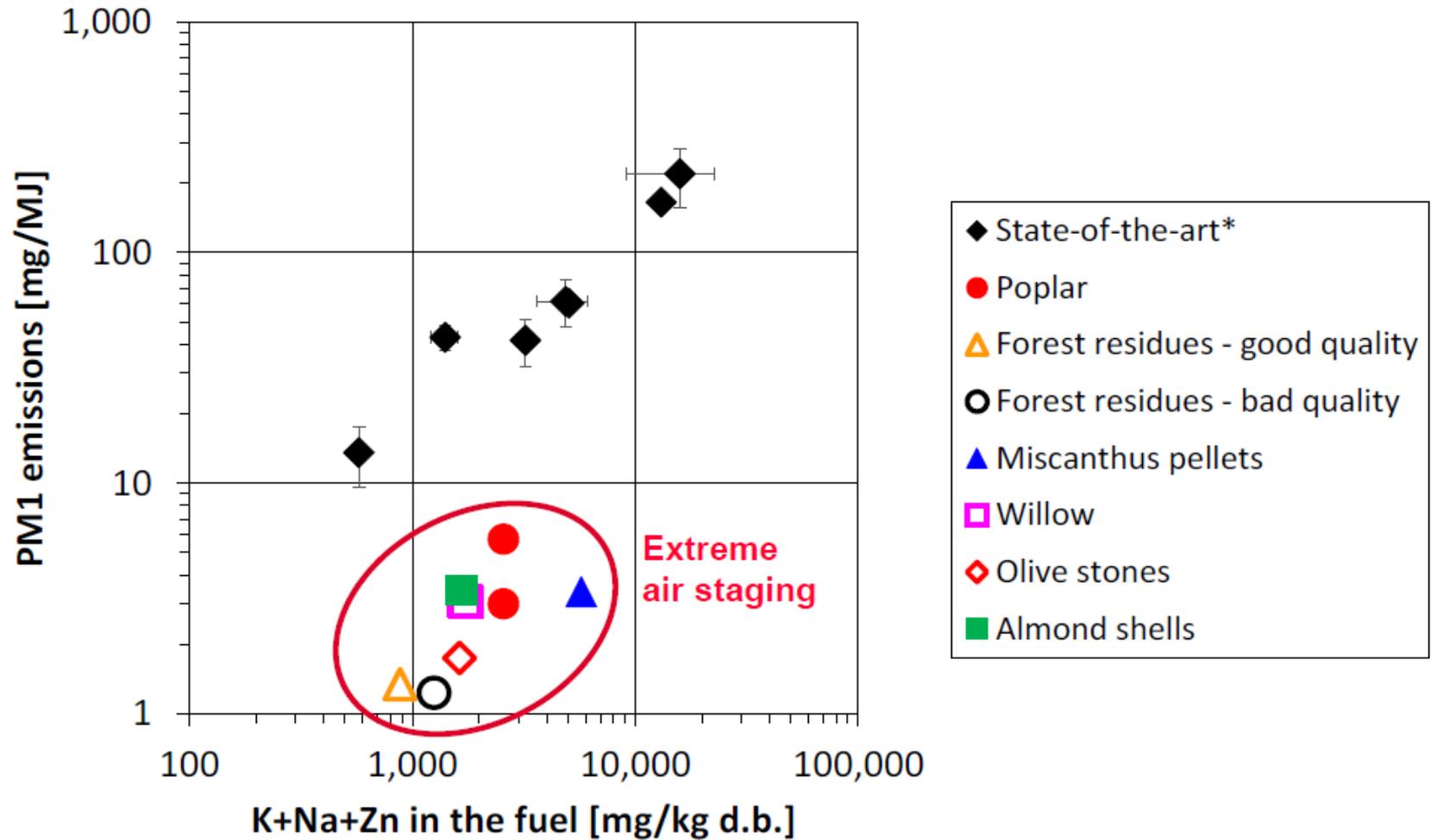
- Combustion du charbon de bois (ca. 100°C)
- Pyrolyse et gazéification à des températures du gaz et du lit de combustible qui diminuent progressivement.
- Zone de séchage : sur le dessus du lit de combustible



Avantages par rapport aux systèmes de combustion à lit fixe les plus modernes, par rapport à un étagement maximal de l'air.

Caractéristique	Avantage
Rapport d'excès d'air	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du rendement thermique (environ +2% en valeur absolue) • Le point de rosée plus élevé des gaz de combustion (2-4°C) permet une mise en œuvre plus efficace de la condensation des gaz de combustion.
Émissions gazeuses	<ul style="list-style-type: none"> • De très faibles émissions peuvent être obtenues pendant les décharges complètes et partielles.
Poussières Totales en Suspension (PTS)	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun dispositif de précipitation des poussières n'est nécessaire • Réduction significative de l'encrassement des chaudières
Émissions de particules fines	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun dispositif de précipitation des poussières (ESP, filtres à manche) n'est nécessaire. • Réduction significative de l'encrassement des chaudières

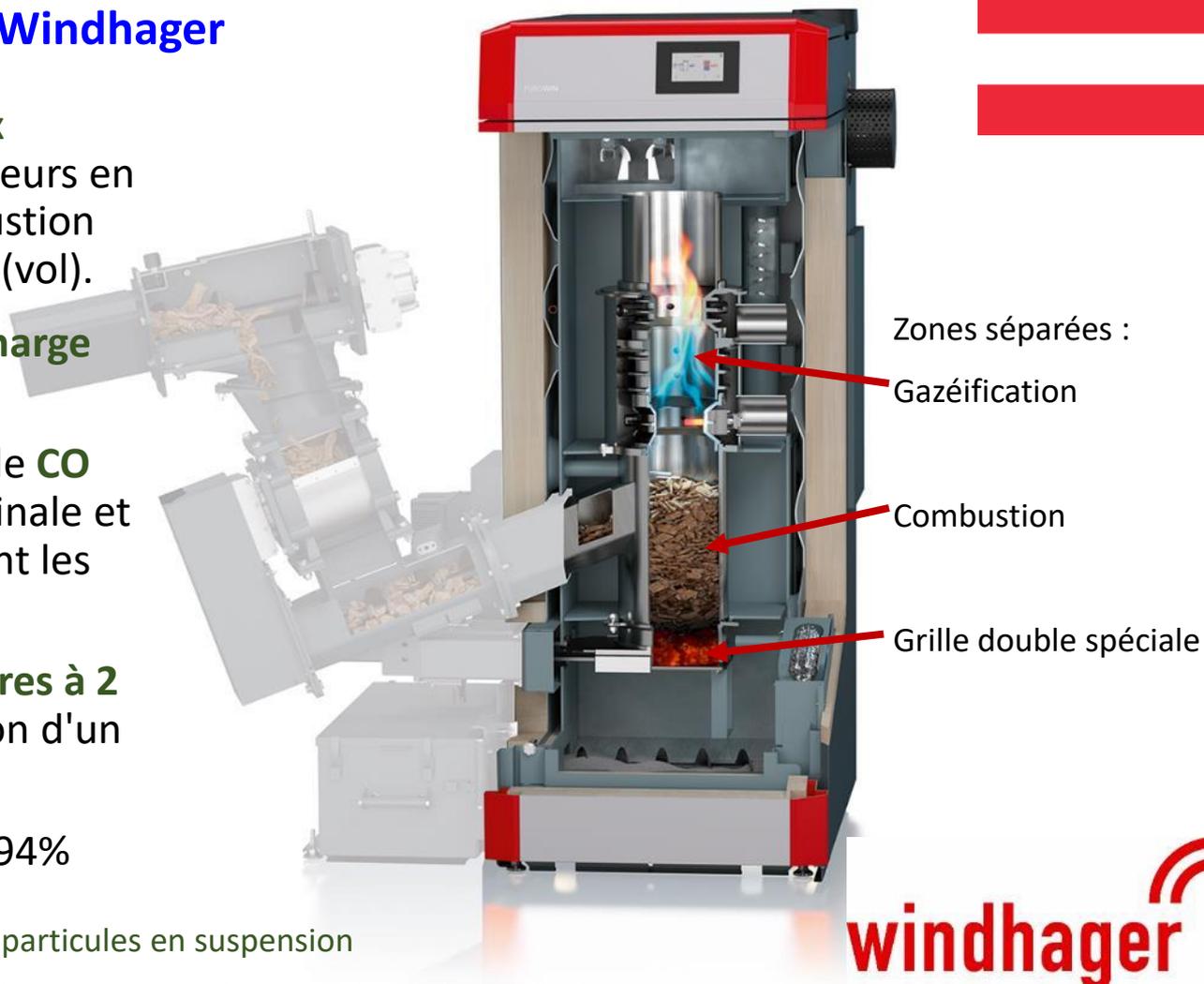
Émissions de particules fines



La technologie de l'excès d'air extrême appliquée aux chaudières de petite taille

PuroWIN technologie de Windhager

- **Combustion à faible taux d'émissions** pour des teneurs en O_2 dans les gaz de combustion comprises entre 3 et 5 % (vol).
- **Variation flexible de la charge** entre 25-100%
- **Presque zéro** émissions de **CO** et **OGC*** à la charge nominale et partielle ainsi que pendant les changements de charge
- **TPS**** émissions **inférieures à 2 mg/MJ_{NCV}** sans application d'un quelconque filtre
- **Rendement élevé de 93-94%**

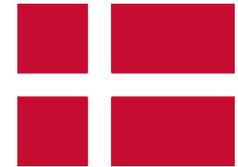


windhager

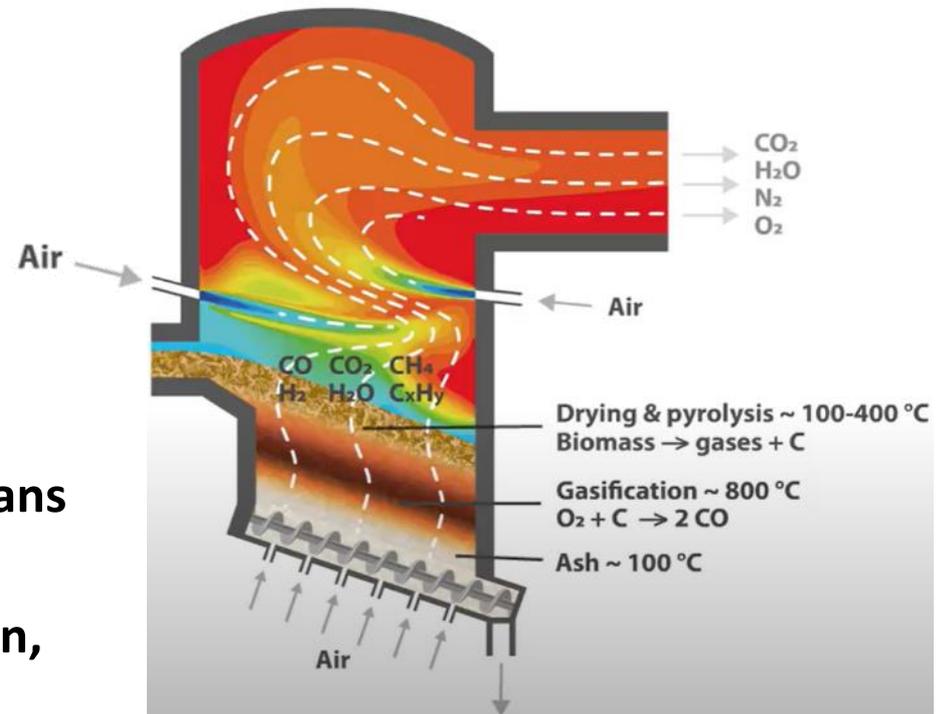
*Organic gaseous carbon / ** Total des particules en suspension

La technologie de l'excès d'air extrême appliquée aux chaudières de petite taille

Chaudière de gazéification de la biomasse Dall Energy



- Pas de grille
- Combustion des gaz directement au-dessus du lit de combustible
- Grande flexibilité de combustible
 - Teneur en humidité (20-60 wt.%)
 - Taille des plaquettes jusqu'à 40 cm
 - Teneur en cendres jusqu'à 30wt.%
- Émissions totales de particules en suspension inférieures à 20 mg/MJ sans filtre
- 4 centrales (2 à 9 MW) en exploitation, 20 MW de centrales en construction

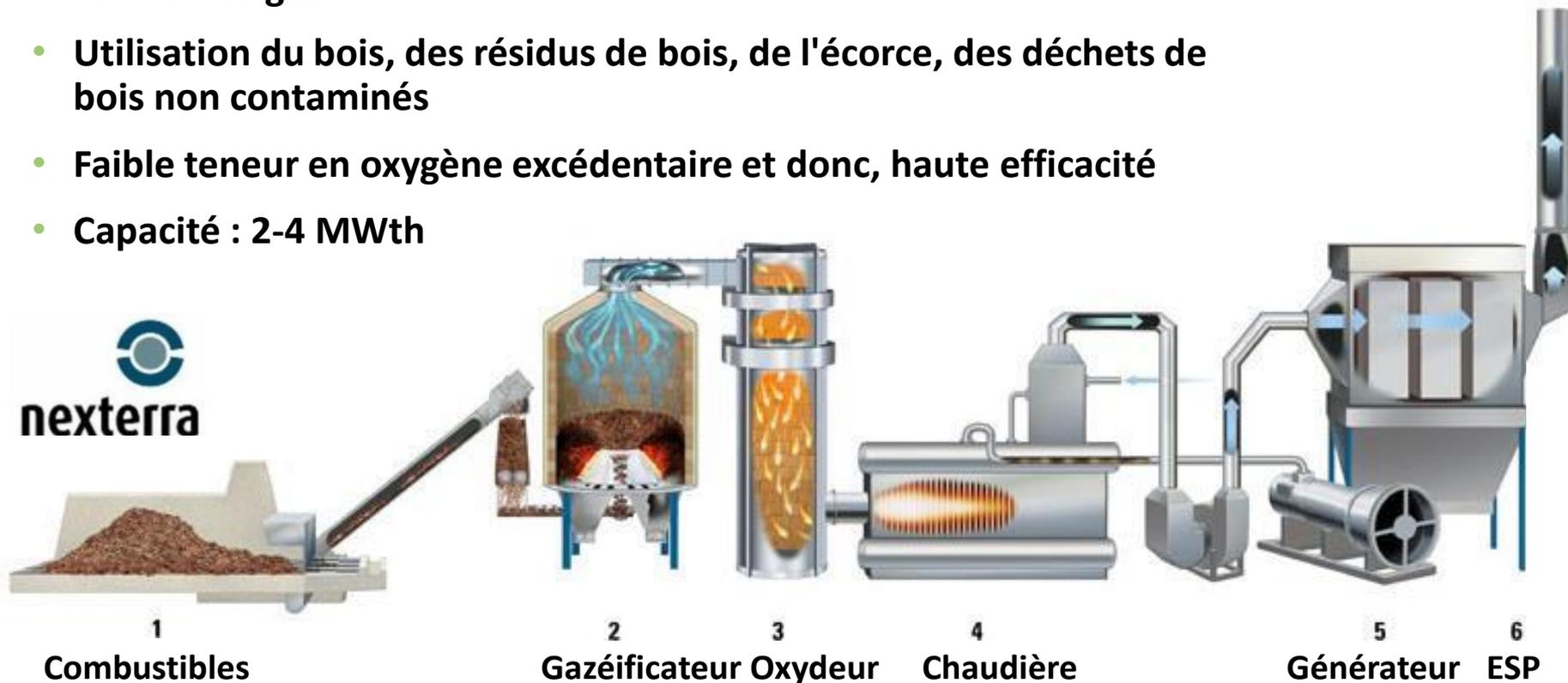


La technologie de l'excès d'air extrême appliquée aux chaudières de petite taille

Nexterra : Gazéification / Combustion



- Combustion du gaz produit dans un brûleur séparé relié par un conduit de gaz
- Utilisation du bois, des résidus de bois, de l'écorce, des déchets de bois non contaminés
- Faible teneur en oxygène excédentaire et donc, haute efficacité
- Capacité : 2-4 MWth

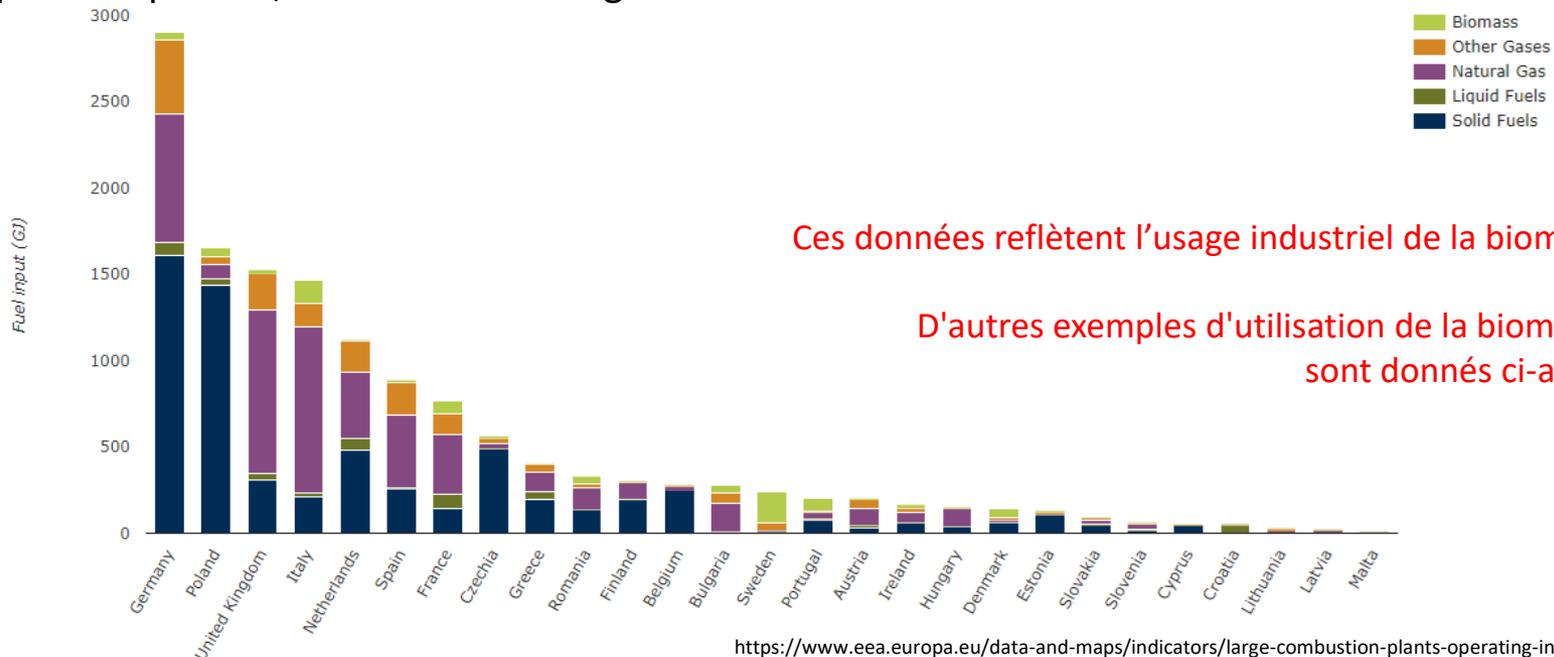


Sommaire :

1. **Types d'agrobiomasse**
2. **La combustion de la biomasse**
3. **Technologies pour la combustion de l'agro-biomasse**
 - 3.1 Différents types de technologies
 - 3.2 Les principales innovations
 - 3.3 Retours d'expérience positifs**
4. **Exploitation d'installations d'agrobiomasse**
 - 4.1 Problèmes techniques couramment rencontrés et leurs solutions
 - 4.2 Agroénergie : "concevoir pour résoudre les problèmes"
5. **Émissions générées par la combustion de l'agro-biomasse**
 - 5.1 Types de composés, problèmes associés et limites d'émission
 - 5.2 Cadre réglementaire
6. **Types et sources de matières premières et logistique de collecte**
 - 6.1 Localisation des matières premières (outils utiles et cartographie)
 - 6.2 Logistique de collecte
 - 6.3 Coûts de la collecte et machines nécessaires

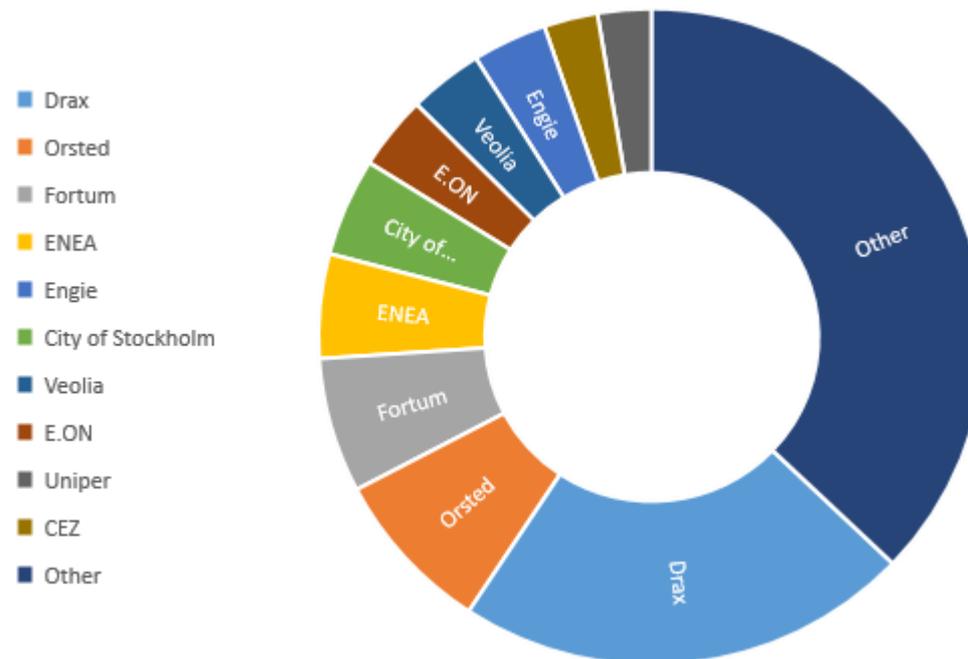


- Il existe 3 664 grandes installations de combustion dans l'UE-28.
- La capacité installée a globalement augmenté de 4 % entre 2004 et 2017. Cette tendance a atteint un maximum en 2012.
- L'utilisation de la biomasse a triplé entre 2004 et 2017, bien qu'elle soit encore utilisée en quantités relativement faibles (6 % du total en 2017, 830 GJ).
- Les combustibles solides (charbon, lignite, tourbe et autres combustibles fossiles solides) et le gaz naturel restent les principales sources d'apport en combustible, mais la quantité utilisée a diminué d'environ 25 % au cours de la période. Cela pourrait refléter le passage du système énergétique européen du pétrole, du charbon et du gaz aux sources renouvelables.



<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/large-combustion-plants-operating-in-europe-3/assessment>

- 76 usines brûlent actuellement un total de six millions de tonnes de biomasse chaque année.
- Quelques centrales à biomasse utilisent la majeure partie de la biomasse totale. Par exemple, Drax au Royaume-Uni - la plus grande centrale à biomasse - brûle 22 % du total. Ensemble, les dix plus grandes centrales à biomasse brûlent la moitié du total.



- OPG Ravenšćak:

Le combustible principal est la sciure de bois pour 850 kW
La société a utilisé avec succès le miscanthus et a commencé à en cultiver en 2021



- Utility company of the city of Križevci

Chauffage de deux bâtiment publics et compost

Utilise la taille des vergers de la ville 200 t/an

Chaudière de 150 kW WVTerm + 20 kW PV system

Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities

- Ulbjerg Kraftvarme:
 - Alimente le réseau de chauffage urbain de la petite municipalité d'Ulbjerg.
 - Fonctionne principalement avec des balles de paille de céréales. La chaudière peut brûler d'autres résidus agricoles ou des copeaux de bois dont le taux d'humidité peut atteindre 30 %.
 - Chaudière de 1 000 kW
 - Investissement total : De l'ordre de 1M€
 - Economies annuelles : 128 000 € de combustible



Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities

- Vennerslund, Frederiksdal kisebaervin, Holmegaard or Orupgard
 - Chauffage des locaux
 - Séchage des céréales de saison
 - Production de vin de cerise
 - Chauffage des fermes avicoles
 - Chaudières à paille : 400 - 950 kW



Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities

- Midtlangeland Fjernvarme
 - Chaudière à eau chaude de 7 700 kW fournie par Justsen.
 - Système deNOx SNCR à base d'urée (selective non-catalytic reduction)
 - Le coût total du projet (remplacement de l'ancienne chaudière) était de l'ordre de 25 millions de couronnes danoises (environ 3,3 millions d'euros).

- Boulstrup-Hou Kraftvarmeværk, Hjallerup Fjernvarme, Rødbyhavn Fjernvarme, Fors A/S / St. Merloese Varmeværk, Lolland Varme A/S and Ørnhøj-Grønbjerg Kraftvarmeværk
 - Chaudières à paille Linka Energy
 - Puissances thermiques allant de 2 000 à 6 500 kW.
 - Ont atteint des valeurs d'émission de poussières bien inférieures à la limite fixée par la directive MCP (40 mg/Nm³), ainsi que des valeurs d'émission de CO également inférieures à la limite (625 mg/Nm³).

Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities

- **AGRIS S.A. l'utilisation réussie de l'agrobiomasse**
 - Une pépinière de serres de plus de trois hectares.
 - Huit chaudières à biomasse (capacité totale de 9,28 MW).
 - Initialement, elles fonctionnaient avec des granulés de tourteaux de tournesol épuisés (combustible supérieur sans problème d'odeur).
 - La facture annuelle de chauffage a été réduite de 20 à 30 %, le système de chauffage à la biomasse couvrant jusqu'à 97 % de la demande totale de chaleur.

- **BIOKARPOS S.A.**
 - Le Péloponnèse est un autre cas intéressant de chauffage à l'agrobiomasse.
 - Trois chaudières à biomasse modernes à grille mobile (PelleTech / Camino Design), d'une capacité de 350 kW chacune.
 - Actuellement alimentée par des granulés de coques de tournesol, l'entreprise prévoit d'installer une capacité de chauffage supplémentaire et de commencer à utiliser ses propres résidus (déchets verts de serre) et des tailles agricoles broyées.

Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities

- Oniropetra Boutique Hotel
 - Illustre les avantages offerts par le chauffage à l'agrobiomasse dans le secteur des services dans des conditions correctes.
 - Karpenisi, une région montagneuse au climat froid.
 - Une chaudière à biomasse de 200 kW (PelleTech / Camino Design) a été installée en 2014 et elle fonctionne actuellement avec des granulés de coques de tournesol. 75 tonnes de biomasse/an. Investissement : 23 000€, retour sur investissement 1,5 ans.



Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities

Agronergy, partenaire du projet AgroBioHeat, compte dans son portefeuille des centrales de chauffage à la biomasse telles que celle de la petite ville de Chevresis :

- Le miscanthus est utilisé pour chauffer une maison de retraite municipale - chaleur abordable pour les résidents.
- Association impliquant les agriculteurs locaux et le conseil municipal depuis 2018.



Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities; Photo: Agronergy

- Abbaye Notre Dame d'Ourscamp.
 - Chauffage au miscanthus depuis 2014.
 - Des économies annuelles de 60 000 € sur les coûts de combustible ont été observées. Un temps de retour sur investissement de moins de 5 ans (investissement total de 267 000 € (92 000 € pour la chaudière et 175 000 € pour le réseau et l'installation).
 - Une réduction de 210 tonnes d'émissions de CO2 par an a également été calculée.
 - Miscanthus fourni par un petit nombre d'agriculteurs proches du monastère.

- CALYS pellets produced by RAGT Energie.
 - Identifie les flux de biomasse appropriés pour le mélange et l'application d'additifs, aidant ainsi les fournisseurs d'agropellets à produire un produit de haute qualité, rentable et utilisable même dans des installations à petite échelle.



Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities

Vilafranca del Penedés:

- Utilisation énergétique de la taille de la vigne
- Chaudière Heizomat de 500 kW
- Petit réseau de chauffage urbain



Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities

- Quesos del Cerrato (fabrique de fromage):
 - Agropellets utilisés dans une chaudière à vapeur (4t/h, 9 bars)
 - Utilisé pour le processus de production de fromage.
 - Chaudière - SUGIMAT
 - Coût : 500 000€, économies : 30-40%



Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities

- Hotel Los Mallos :
 - Chaudière à bottes de paille
 - 250 kW - ACR Ecocalderas + cyclone pour les émissions de particules
 - 280 tonnes/an de balles de paille.



Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities

- Ville d'UMAN: 83 000 habitants.
 - Approvisionnement en combustible (pellets de paille) et technologie de combustion (chaudières à pellets de paille)
 - Installé dans les écoles et les jardins d'enfants
 - 50% d'économie annuelle sur le coût du combustible par rapport au gaz naturel.
- Poultry Complex “Dneprovskiy”:
 - Chaudières à biomasse de 2x5 MW - TTS
 - Balles de paille comme combustible
 - Filtres textiles - émission de particules



Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities



- ITC Shabo:
 - Source de chaleur : Sarments de vigne
 - Chaudière à vapeur de 1,6 MWth - 1 500 tonnes/an de sarments de vigne
 - Centre commercial ACADEM-CITY :
 - Granulés de coques de tournesol.
 - Situé à Kiev
 - Cyclones utilisés pour réduire les émissions de particules (milieu urbain)



Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities



- DALIA Greenhouse
 - Chauffage d'une serre d'un hectare
 - Approvisionnement en combustible (copeaux de saule énergétiques) et biomasse de défrichage des pâturages -> 2 000 tonnes par an
 - Chaudières modernes à biomasse développées par le fabricant roumain BioSistem, équipées de cyclones pour le contrôle des émissions de particules
 - Economies annuelles de combustible de l'ordre de 20 % par rapport au gaz naturel
 - Capacité installée : 4 x 750 kW et 2 x 500 kW



Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities



- Avicol Prod Consult Ltd.
 - Dans le village de Cornatelu, comté de Dambovita
 - Chauffage des élevages de poulets
 - Le combustible principal est l'enveloppe de tournesol de la région de Dambovita.
 - Chaudières à biomasse installées au fil des ans : 1x60 kW, 1x100 kW, 1x150 kW
 - Système d'alimentation automatisé par l'installation de 3 silos de 20 m³, reliés directement aux chaudières



Source: AgroBioHeat D3.1- Agrobiomass Heating Facilities

Sommaire :

1. **Types d'agrobiomasse**
2. **La combustion de la biomasse**
3. **Technologies pour la combustion de l'agro-biomasse**
 - 3.1 Différents types de technologies
 - 3.2 Les principales innovations
 - 3.3 Retours d'expérience positifs
4. **Exploitation d'installations d'agrobiomasse**
 - 4.1 Problèmes techniques couramment rencontrés et leurs solutions**
 - 4.2 Agroénergie : "concevoir pour résoudre les problèmes"
5. **Émissions générées par la combustion de l'agro-biomasse**
 - 5.1 Types de composés, problèmes associés et limites d'émission
 - 5.2 Cadre réglementaire
6. **Types et sources de matières premières et logistique de collecte**
 - 6.1 Localisation des matières premières (outils utiles et cartographie)
 - 6.2 Logistique de collecte
 - 6.3 Coûts de la collecte et machines nécessaires



Problèmes causés par la composition de l'agrobiomasse

Problèmes liés au faible point de fusion des cendres

- Problèmes d'agglomération dans les systèmes de combustion à lit fluidisé
- Encrassement et scories
- Corrosion



Substances présentes dans l'agrobiomasse qui peuvent entraîner des problèmes opérationnels :

Bois et biomasse ligneuse



Plantes herbacées et prairie agricole



Plantes herbacées et paille agricole



Plantes herbacées et agrobiomasse



Biomasse animale



Biomasse contaminée



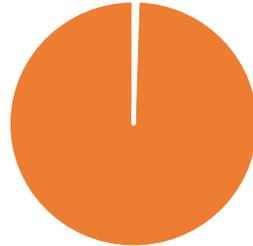
Source of information and image: Alam, Md Tanvir, et al. "A critical review of ash slagging mechanisms and viscosity measurement for low-rank coal and bio-slags." *Frontiers in Energy* 15.1 (2021): 46-67.

- La teneur en cendres varie d'un type de biomasse à l'autre :

Bois

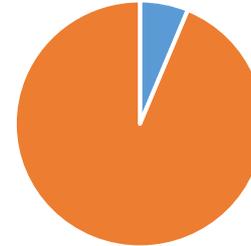


Cendre < 0,5%



<<<

Cendre < 5,0%



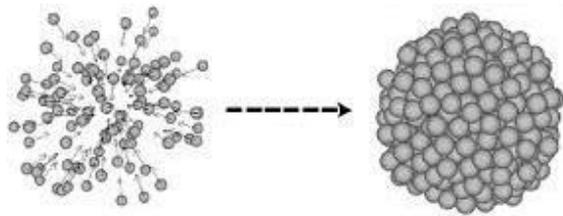
Résidus de cultures



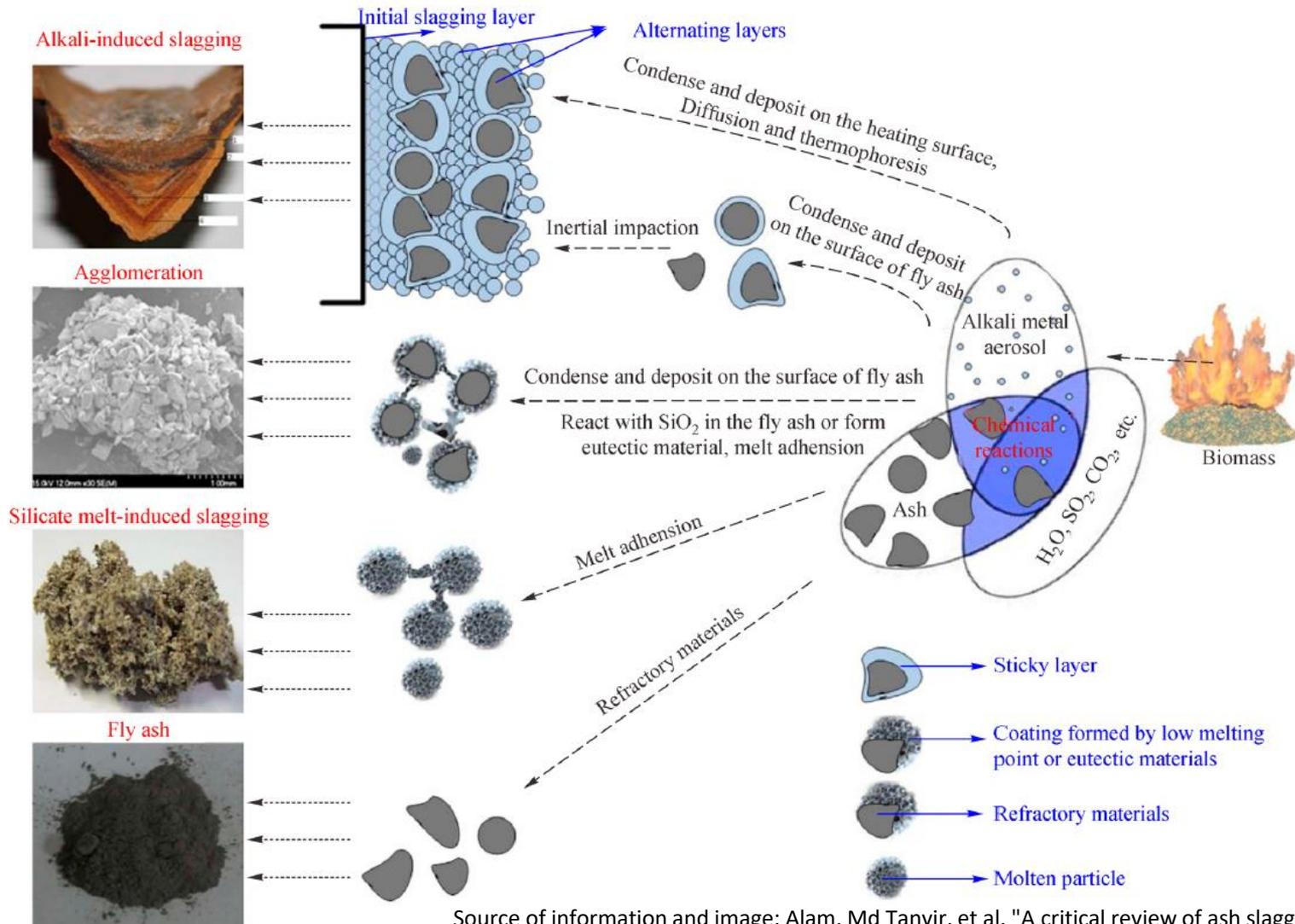
Photo source: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/biomass/wood-biomass-energy.html>

Photo source: <http://biomassmagazine.com/articles/5318/chinaundefineds-crop-residue-capacity>

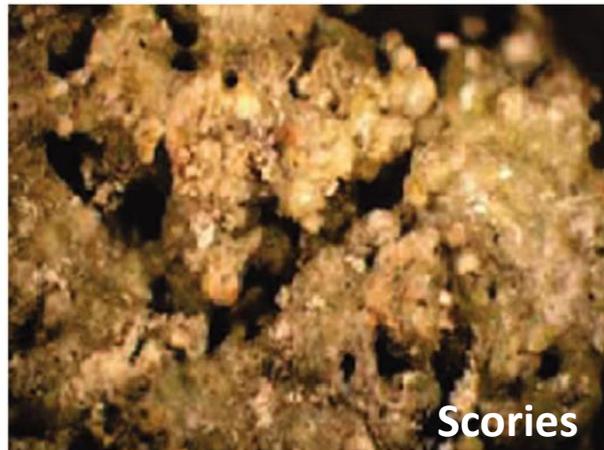
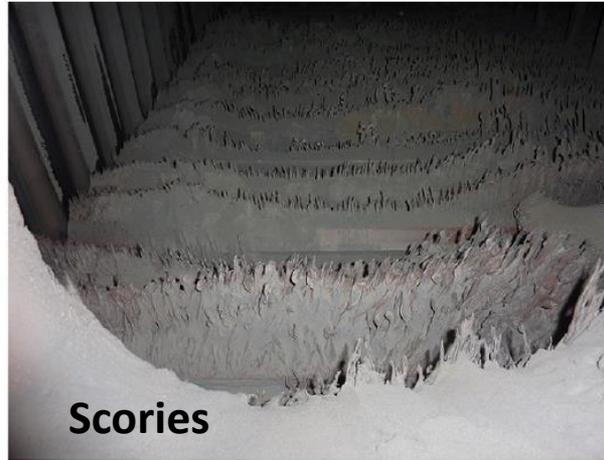
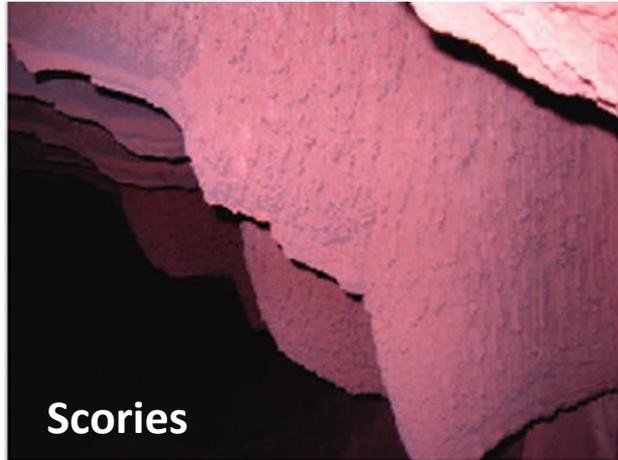
- En raison de la teneur en cendres de la biomasse, il faut veiller à incorporer un système efficace d'élimination des cendres afin de réduire la pollution particulaire.
- Un problème particulier lié aux cendres est leur faible point de fusion pendant la combustion qui peut entraîner l'agglomération, l'encrassement, le goudronnage et par conséquent la corrosion des surfaces de l'échangeur de chaleur.



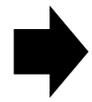
Source of information and pictures: Horvat, Ivan, and Damir Dović. "Combustion of agricultural biomass-issues and solutions." Transactions of FAMENA 42.SI-1 (2018): 75-86.



Source of information and image: Alam, Md Tanvir, et al. "A critical review of ash slagging mechanisms and viscosity measurement for low-rank coal and bio-slags." *Frontiers in Energy* 15.1 (2021): 46-67.



Source of information and pictures: Niu, Yanqing, and Houzhang Tan. "Ash-related issues during biomass combustion: Alkali-induced slagging, silicate melt-induced slagging (ash fusion), agglomeration, corrosion, ash utilization, and related countermeasures." *Progress in Energy and Combustion Science* 52 (2016): 1-61.



Teneur en cendres

Résultats des tests de combustion des granulés de peuplier (teneur en cendres en %w/w)



2%



6%



12%

- Si un équipement est utilisé avec un combustible ayant une teneur en cendres plus élevée, l'équipement doit augmenter l'extraction des cendres et donc augmenter sa fréquence de nettoyage.
- Sinon, la teneur en cendres de la biomasse peut provoquer les agglomérations illustrées sur la photo pendant le processus de combustion.

➔ **Réglage de l'alimentation en combustible, des mouvements de la grille et de la distribution de l'air**

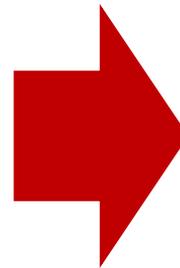


Granulés *Brassica*

Granulés de peuplier

Granulés de sorgho

➔ Obstruction du système d'alimentation et de la distribution d'air



Avant



combustion



après

➔ Dépôts sur les surfaces d'échange de chaleur



- Différentes agro-biomasses peuvent présenter différents défis pendant la combustion.
- Des solutions sont disponibles, mais la question de la faisabilité technico-économique se pose
- Pour les grandes applications (généralement + 1 MW), il existe des possibilités de solutions sur mesure.
- Une bonne conception de la chaudière est la clé de nombreux problèmes potentiels

Caractéristique	Défis potentiels	Solutions
Cendre	Teneur en cendres élevée → Grands volumes à manipuler	Système de traitement des cendres conçu de manière adéquate
Soufre	Taux élevé-S → SOx emissions & corrosion	Mesures secondaires (injection de chaux) Températures élevées côté eau et acier de haute qualité
Azote	Taux élevé-N → NOx emissions	Mesures primaires (excès d'air) Mesures secondaires (SNCR / SCR)
Chlore	Taux élevé-Cl → HCl et émission de dioxine & corrosion	Conception appropriée de la chaudière Températures de retour suffisamment élevées
Potassium	Taux élevé I-K → Encrassement et émissions élevées de particules	Grand volume de la chambre de combustion pour abaisser la température des gaz de combustion avant le premier parcours des tubes de fumées Utilisation d'additifs inorganiques pour le combustible Mesures secondaires pour le contrôle des particules
Température de fusion des cendres	Température de début de fusion des cendres basse → Scorification / formation de mâchefer et encrassement	Grille refroidie à l'eau Recirculation des gaz de combustion sous la grille
Propriétés physiques	Décompactage, inhomogénéité, adhérence, faible masse volumique, etc.	Bonne conception du système de manutention/pré-traitement du combustible

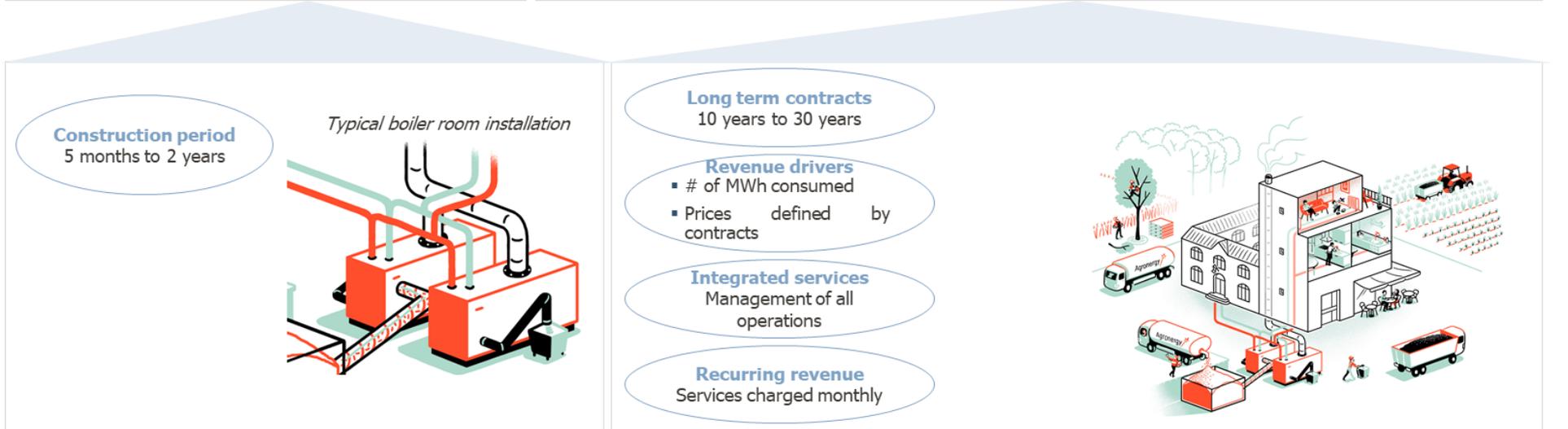
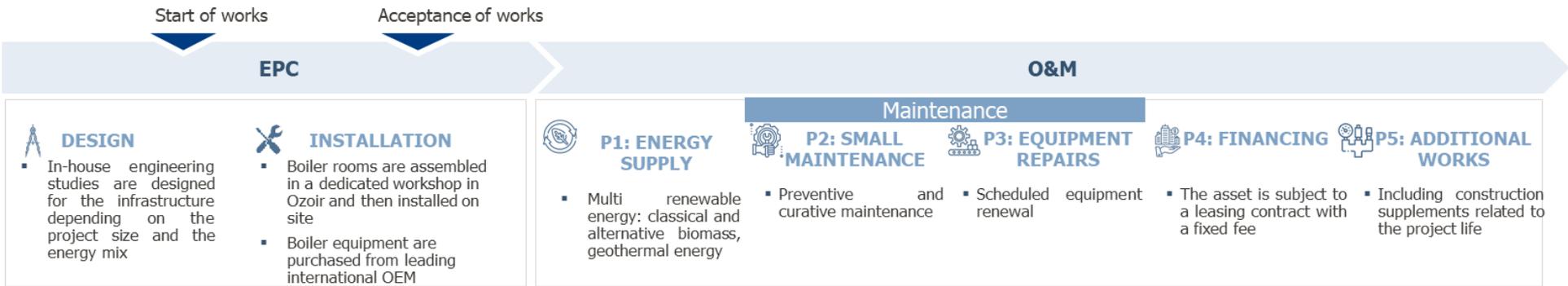
Table adapted from [L. Justsen / Justsen Energiteknik A/S, WBA Webinar: Agricultural residues to energy / Latest technological developments](#)

Sommaire :

1. **Types d'agrobiomasse**
2. **La combustion de la biomasse**
3. **Technologies pour la combustion de l'agro-biomasse**
 - 3.1 Différents types de technologies
 - 3.2 Les principales innovations
 - 3.3 Retours d'expérience positifs
4. **Exploitation d'installations d'agrobiomasse**
 - 4.1 Problèmes techniques couramment rencontrés et leurs solutions
 - 4.2 **Agroénergie : "concevoir pour résoudre les problèmes"**
5. **Émissions générées par la combustion de l'agro-biomasse**
 - 5.1 Types de composés, problèmes associés et limites d'émission
 - 5.2 Cadre réglementaire
6. **Types et sources de matières premières et logistique de collecte**
 - 6.1 Localisation des matières premières (outils utiles et cartographie)
 - 6.2 Logistique de collecte
 - 6.3 Coûts de la collecte et machines nécessaires



- Fournisseur de chauffage intégré
- 31 chaudières biomasse en fonctionnement
- Utilisation de biomasse alternative : élagage / miscanthus / agropellets...



Installations d'Agronergy utilisant actuellement (ou ayant utilisé) de l'agrobiomasse

-  Maison de retraite à Chevresis Monceau (Nord de la France)
-  Surface chauffée : 60 pièces
-  Capacité : 400 kW biomasse + 750 kW gaz
-  Consommation de chauffage : 110 MWh / an
-  Agro-combustible : miscanthus
-  Début : Oct 2019
-  Contrat : 12 ans



Questions relatives à l'exploitation des installations de combustion de l'agrobiomasse :

1. Alimentation en combustible

La densité du miscanthus est très faible : $100\text{kg/m}^3 \Rightarrow$ ne peut être transporté que depuis une zone très proche (10 à 20 km max)

Le miscanthus est très sec : il aspire l'humidité de l'air ou du silo \Rightarrow Un plancher surélevé a été mis en place pour les problèmes d'infiltration et d'humidité.

En dehors de cela, le système d'alimentation est le même que pour les pellets \Rightarrow pas besoin d'équipement spécifique.

2. Mâchefer

Du mâchefer peut apparaître très facilement avec l'agrobiomasse \Rightarrow nécessite un réglage spécifique avec un grand excès d'air ainsi qu'une modification de la chaudière pour refroidir les cendres.



Questions relatives à l'exploitation des installations de combustion de l'agrobiomasse

3. Corrosion

Suies de cendres très agressives.

Risques de corrosion pour l'acier inoxydable des conduits de fumée et tous les convoyeurs situés à l'extérieur.

Risque de corrosion pour la chambre de combustion et l'échangeur de chaleur à l'intérieur de la chaudière

Solution : maintenir une température élevée (supérieure à la température de condensation des fumées) en tous points du système.

4. Emissions

Il est difficile d'obtenir de bons résultats en matière d'émissions à tous les niveaux de puissance.

Émissions stables uniquement à 100 % de charge

Solution : éviter le mode de fonctionnement tout ou rien.

Maintenir une combustion régulière

= sous-dimensionner la chaudière à agrobiomasse et garder le gaz en réserve.



VI 15		testo 340	
EPIAD CHEVRESIS		62397821/F	
RHK-AK400		Départ: 07.04.21 16:19:35	
		Fin: 07.04.21 16:29:33	
Moyenne:			
141.3	°C T fumées		
9.80	% O2		
2.05	% H2O d'air		
10.80	% Oxygène		
18	ppm CO		
8.0	% qA		
91.4	% rdnt		
100	ppm NO		
29.3	°C T comburant		
33	ppm CO non dilué		
49.7	°C Point rosée		
1023	hPa P absolue		
25.7	°C T appareil		
0.80	l/min Débit pompe		
5	ppm SO2		
	TF		
	°C		
01	136.2	9.50	2.12
02	136.2	9.49	2.12
03	137.6	9.78	2.06
04	138.5	9.28	2.17
05	135.5	9.23	2.18
06	141.0	10.70	1.88
07	143.1	10.26	1.96
08	143.4	9.20	2.19
09	144.7	10.06	2.00
10	146.2	10.59	1.90
11	147.7	10.36	1.94
	02	03	qA
	%	ppm	%
01	11.17	13	8.2
02	11.18	14	8.5
03	10.88	11	8.2
04	11.40	12	8.7

VI 15		62397821/F	
EPIAD CHEVRESIS		Départ: 07.04.21 14:08:16	
		Fin: 07.04.21 14:18:16	
Moyenne:			
141.9	°C T fumées		
8.81	% O2		
2.07	% H2O d'air		
10.85	% Oxygène		
18	ppm CO		
9.1	% qA		
90.9	% rdnt		
102	ppm NO		
24.7	°C T comburant		
31	ppm CO non dilué		
46.0	°C Point rosée		
1022	hPa P absolue		
28.5	°C T appareil		
0.80	l/min Débit pompe		
0	ppm SO2		
	TF		
	°C		
	%		
01	136.3	8.49	2.37
02	136.2	8.24	2.44
03	137.8	9.03	2.23
04	140.1	10.03	1.88
05	142.3	11.18	1.80
06	143.0	10.34	1.95
07	143.4	10.06	2.00
08	143.8	9.57	2.10
09	145.3	10.61	1.90
10	146.3	10.58	1.90
11	146.2	9.15	2.20
	02	03	qA
	%	ppm	%
01	12.22	13	10.0
02	12.47	12	10.1
03	11.66	12	9.5
04	9.94	12	8.3
05	9.43	20	8.1
06	10.30	22	8.7
07	10.69	16	8.9

Questions relatives à l'exploitation des installations de combustion de l'agrobiomasse

5. Élimination des cendres

La quantité de cendres est beaucoup plus élevée que celle des copeaux de bois (environ 10 fois plus de cendres)

Nécessite un entretien régulier et l'élimination des cendres

Nécessite une sortie économique et pratique pour les cendres.

Dans notre cas, les cendres sont répandues dans les champs par les agriculteurs. La saisonnalité et la quantité ne sont pas suffisantes pour en faire une ressource fiable pour les agriculteurs.



Avantages

- Source d'énergie à faible coût
- Utilise une ressource qui ne serait pas utilisée autrement
- Ne génère pas de problèmes mécaniques

Inconvénients

- Le produit absorbe facilement l'humidité et influence grandement le réglage de la combustion
- Forte volatilité du matériau entraînant une nuisance sur les habitations directement voisines
- Difficile d'optimiser l'émission de CO
- Odeur dérangeante lors des transitions de phases de la combustion
- Production importante de cendres et de scories
- Faible densité énergétique
- Cendres non qualitatives

Sommaire :



1. **Types d'agrobiomasse**
2. **La combustion de la biomasse**
3. **Technologies pour la combustion de l'agro-biomasse**
 - 3.1 Différents types de technologies
 - 3.2 Les principales innovations
 - 3.3 Retours d'expérience positifs
4. **Exploitation d'installations d'agrobiomasse**
 - 4.1 Problèmes techniques couramment rencontrés et leurs solutions
 - 4.2 Agroénergie : "concevoir pour résoudre les problèmes"
5. **Émissions générées par la combustion de l'agro-biomasse**
 - 5.1 Types de composés, problèmes associés et limites d'émission**
 - 5.2 Cadre réglementaire
6. **Types et sources de matières premières et logistique de collecte**
 - 6.1 Localisation des matières premières (outils utiles et cartographie)
 - 6.2 Logistique de collecte
 - 6.3 Coûts de la collecte et machines nécessaires

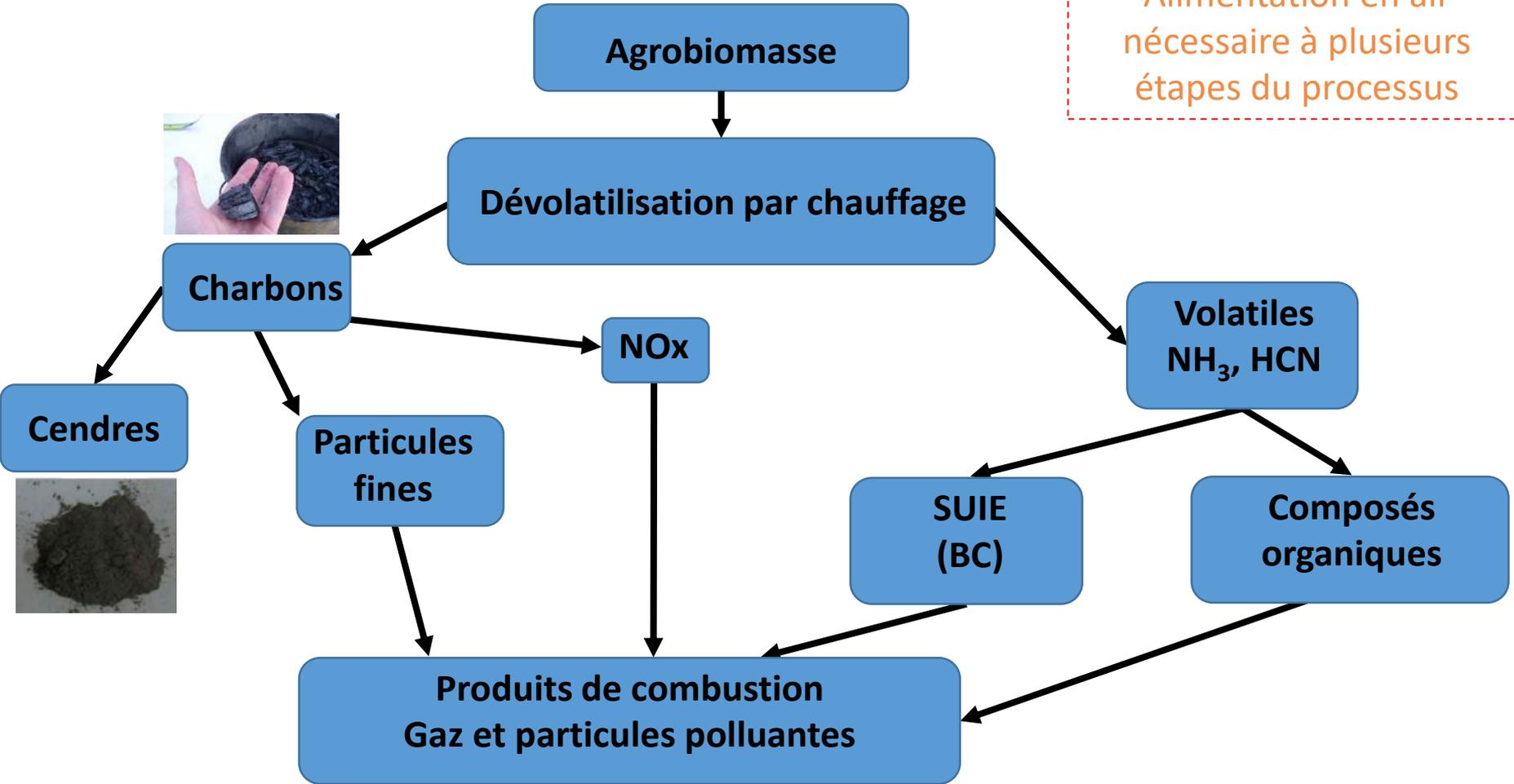




Stockage

→ Perte de substances volatiles

Alimentation en air nécessaire à plusieurs étapes du processus



Type d'émissions

- Hydrocarbures aromatiques polycycliques
- Émissions de CO
- Émissions de NOx
- Émissions de SOx
- Émissions de poussières
- Dioxines et furanes



Combustion de plaquettes forestières, avec génération de fumées lourdes et de vapeur à basse température. En présence d'O₂, la température d'oxydation volatile est atteinte

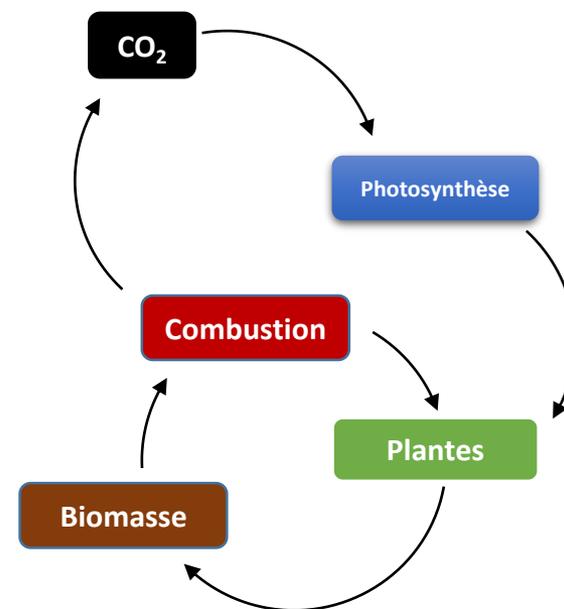
Photograph source: Training course on "Energy from biomass" / "Biomass characterization" elaborated by CIRCE. Date June, 13-15th, 2017

- Les impacts environnementaux de la pollution atmosphérique provenant de la plupart des applications modernes et bien entretenues de combustion de la biomasse sont aujourd'hui loin d'être négligeables.
- Par rapport aux applications de combustion de combustibles fossiles, il existe plusieurs avantages
- La biomasse est un combustible renouvelable considéré comme neutre en terme de CO₂ par rapport au bilan de l'effet de serre.
- Cela est vrai si :

- ✓ des niveaux très faibles d'émissions dues à une combustion incomplète sont atteints
- ✓ l'utilisation de combustibles fossiles pour la récolte et le transport des combustibles issus de la biomasse n'est pas prise en compte
- ✓ l'utilisation d'électricité produite à partir de combustibles fossiles est exclue.



- Pour évaluer les impacts environnementaux réels de la combustion de la biomasse, il faudrait idéalement réaliser une analyse du cycle de vie.
- Ce type d'évaluation inclut les différentes étapes du cycle de vie de la biomasse :
 - Fuel
 - Transport
 - Stockage
 - Conversion
 - Évacuation et manipulation des cendres



Construction, exploitation, maintenance et démantèlement de l'installation doivent également être incluses dans l'évaluation.



Composant	Sources de biomasse	Impacts
Dioxyde de Carbone (CO ₂)	Principal produit de combustion de tous les combustibles issus de la biomasse	Climat: gaz à effet de serre direct
Particules	Suie, charbon et hydrocarbures lourds condensés (goudron) provenant de la combustion incomplète de tous les combustibles issus de la biomasse / Cendres volantes et sels	Climat et environnement: Effet de serre inversé par la formation d'aérosols / Effets indirects des concentrations de métaux lourds dans les particules déposées Santé: effet négatif sur le système respiratoire humain / effets cancérigènes
Oxydes d'Azote NO _x (NO, NO ₂)	Produit de combustion mineur de tous les combustibles de la biomasse contenant de l'azote / Des NO _x supplémentaires peuvent être formés à partir de l'azote présent dans l'air dans certaines conditions.	Climat et environnement: Gaz à effet de serre indirect par la formation de O ₃ / Effet de serre inversé par la formation d'aérosols / Précipitations acides / Dommages à la végétation / Formation de smog / Corrosion et dommages matériels Santé: effet négatif sur le système respiratoire humain / le NO ₂ est toxique
Oxydes de soufre SO _x (SO ₂ , SO ₃)	Produit de combustion mineur de tous les combustibles de la biomasse contenant du soufre	Climat et environnement: effet de serre inversé par la formation d'aérosols / précipitations acides / dommages à la végétation / formation de smog / corrosion et dommages matériels Santé: effet négatif sur le système respiratoire humain / effet asthmatique
Métaux lourds	Tous les combustibles issus de la biomasse contiennent des métaux lourds dans une certaine mesure, qui restent dans les cendres ou s'évaporent.	Santé: Accumulation dans la chaîne alimentaire / Certains sont toxiques et d'autres ont des effets cancérigènes.
Chlorure d'Hydrogène (HCl)	Produit de combustion mineur de tous les combustibles de la biomasse contenant du chlore	Climate and environment: Précipitations acides / Dommages à la végétation / Corrosion et dommages matériels Santé: Effet négatif sur le système respiratoire humain / Toxique

Composant	Sources de biomasse	Impacts
Monoxyde de Carbone (CO)	Combustion incomplète de tous les biocombustibles	Climat: gaz à effet de serre indirect par la formation de O ₃ Santé: la réduction de l'absorption d'oxygène influence particulièrement les personnes atteintes d'asthme, et les embryons / suffocation dans les cas extrêmes
Méthane (CH ₄)	Combustion incomplète de tous les biocombustibles	Climat: gaz à effet de serre direct / gaz à effet de serre indirect par la formation de O ₃
Composés organiques volatils non méthaniques (COVNM)	Combustion incomplète de tous les biocombustibles	Environnement: gaz à effet de serre indirect par la formation d'O ₃ Santé: effet négatif sur le système respiratoire humain
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	Combustion incomplète de tous les biocombustibles	Environnement: formation de smog Santé : effets cancérigènes
Ammoniac (NH ₃)	De petites quantités peuvent être émises en raison de la conversion incomplète du NH ₃ formé par la pyrolyse/gazéification en composants azotés oxydés / Mesures de réduction secondaire des NOx par injection de NO ₃ (SNCR, SCR).	Climat et environnement: Précipitations acides / Dommages à la végétation / Corrosion et dommages matériels Santé: effet négatif sur le système respiratoire humain
Ozone troposphérique (O ₃)	Produit de combustion secondaire formé à partir de réactions atmosphériques, notamment CO, CH ₄ , COVNM et NOx.	Climat et environnement: effet de serre direct / dommages à la végétation / formation de smog / dommages matériels Santé: effet indirect dû à l'appauvrissement en O ₃ de la stratosphère / effet négatif sur le système respiratoire humain / effet asthmatique
Dioxines et furanes (PCDD/PCDF)	Une faible quantité peut être émise à la suite de réactions comprenant du carbone, du chlore et de l'oxygène en présence de	Santé: Hautement toxique / Lésions hépatiques / Lésions du système nerveux central / Réduction des défenses immunitaires / Accumulation dans la chaîne alimentaire

Emissions at 11% O ₂	Fuel type	Typical Data
NO _x (mg/Nm ³)	Native wood (soft wood)	100 - 200
	Native wood (hard wood)	150 - 250
	Straw, grass, miscanthus, chip boards	300 - 800
	Altholz	400 - 600
HCl (mg/Nm ³)	Native wood	< 5
	Altholz, straw, grass, miscanthus, chip boards (NH ₄ Cl)	raw gas: 100 - 1000 with HCl absorption: < 20
Particles (mg/Nm ³)	Native wood after cyclone:	50 - 150
	Straw, grass, miscanthus, chip boards after cyclone:	150 - 1000
	Altholz after cloth or electric filter:	< 10
Σ Pb, Zn, Cd, Cu (mg/Nm ³)	Native wood	< 1
	Altholz raw gas:	20 - 100
	Altholz after cloth or electric filter:	< 5
PCDD/F (ng TE/Nm ³)	Native wood typical:	< 0.1
	Native wood range:	0.01 - 0.5
	Altholz : typical:	2
	urban waste wood & demolition wood range:	0.1 - 20

Il convient de noter que les fourchettes suivantes ont été représentées dans le tableau ci-dessus

Au dessus de 5 MW	Les chaudières de plus grande taille développées pour la combustion de la biomasse comprennent des grilles mobiles conventionnelles, qui est la chaudière la plus courante, des chaudières dédiées comme les chaudières à paille, les lits fluidisés bouillonnants (BFB) et les lits fluidisés circulants (CFB).
Autour de et en dessous de 1 MW	Le foyer cyclone est couramment utilisé / Le foyer à alimentation par le bas et la grille fixe sont les systèmes de combustion les plus courants dans les chaudières.
En dessous de 0.02 MW	Il existe sur le marché différents types de chaudières à bûches, de poêles à bois et de cheminées.

Source: Nussbaumer and Hustad "Overview of biomass

combustion." *Developments in thermochemical biomass conversion*, 1997

La réduction des émissions nocives par les gaz de combustion et les effluents peut être obtenue par l'une ou l'autre des méthodes suivantes :

Mesures primaires	Éviter la création de telles substances	Modification du processus de combustion
Mesures secondaires	Élimination des substances contenues dans les gaz de combustion	Mesure qui a lieu après le processus de combustion

Les mesures de réduction primaire des émissions visent à prévenir ou à réduire la formation d'émissions et/ou une réduction des émissions à l'intérieur de la chambre de combustion :

- Modification de la composition du combustible
- Modification de la teneur en humidité du combustible
- Modification de la taille du combustible
- Sélection du type d'équipement de combustion
- Amélioration de la construction de l'application de combustion
- Optimisation du contrôle du processus de combustion
- Combustion d'air étagée
- Combustion et oxydation étagées du combustible
- Convertisseurs catalytiques



Mesure	Description
Modification de la composition du combustible	<ul style="list-style-type: none"> -Les combustibles de biomasse non traités sont des combustibles solides, avec des possibilités limitées de réduire la quantité d'éléments spécifiques dans le combustible. -Dans le cas de la paille, le lavage (exposition à la pluie) du combustible s'est avéré efficace. -Des expériences avec de la paille d'orge au Danemark ont montré qu'après 150 mm de pluie, la teneur en chlorure était passée de 0,49 à 0,05 % et la teneur en potassium de 1,18 à 0,22 %.
Modification de la teneur en humidité du combustible	<ul style="list-style-type: none"> -Le bois destiné à des fins énergétiques, par exemple, peut avoir une teneur en humidité entre 10 et 60 %, selon qu'il s'agit de bois provenant de l'industrie où il a été préalablement séché ou de bois frais provenant de la forêt. -Une humidité élevée rend difficile l'obtention d'une température élevée. -Une température supérieure à 850°C est souhaitée pour assurer un niveau suffisamment bas de CO -Au contraire, une combustion incomplète peut se produire. -La chaleur résiduelle d'un autre processus peut être utilisée pour éliminer l'humidité.
Modification de la taille du combustible	<ul style="list-style-type: none"> - La taille du combustible dans les installations de combustion de biomasse peut varier de bûches de bois entières à de la sciure fine. -Si le combustible est composé à la fois de très petits et de très gros morceaux, une déchiqueteuse ou un broyeur peut être utilisé pour réduire la taille des plus gros morceaux.
Sélection du type d'équipement de combustion	<ul style="list-style-type: none"> -Les caractéristiques du combustible telles que la composition, la teneur en humidité et la taille des morceaux sont importantes. -Pour les combustibles bois, seule la teneur en azote peut limiter le choix de la technologie de combustion, s'il y a des limites d'émission de NOx à respecter. -La teneur en humidité est décisive pour les combustibles ligneux tels que les copeaux et les écorces si le séchage du combustible avant la combustion n'est pas une option.
Amélioration de la construction du générateur	<ul style="list-style-type: none"> -Températures de combustion suffisamment élevées. -Temps de séjour suffisamment longs -Mélange optimal des gaz combustibles et de l'air, même en cas de variation de la chaleur et/ou de la puissance.

Mesure	Description
Optimisation du contrôle des processus de combustion	<ul style="list-style-type: none"> -Minimisation des émissions : la qualité de la combustion peut être modifiée en ajustant les quantités de combustible et d'air primaire et secondaire, en fonction des concentrations mesurées de CO, CxHy, O2 et de la température de la chambre de combustion. -Contrôle de la production de chaleur : basé sur l'utilisation de la différence de température mesurée et du débit massique de l'eau de la chaudière. -Modification d'une chaudière à biomasse existante.

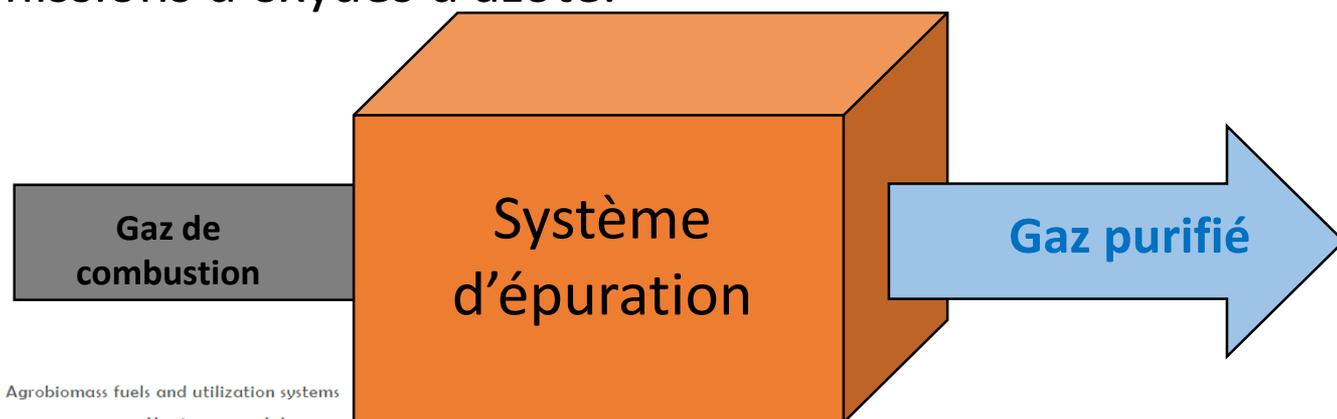
- Pour une installation de combustion de bois à vis sans fin de 500 KWth Nolting avec séparateur cyclonique TNO* a installé une sonde à oxygène afin de contrôler le processus de combustion et la production de chaleur (*Netherlands Organisation for Applied Scientific Research).
- La recirculation des gaz a été appliquée et la chambre de combustion a été modifiée.

Propriété	Avant optimisation	Après optimisation
CO (mg/m3)	3516 ↘	82
CxHy (mg/m3)	262 ↘	2
NOx (mg/m3)	772 ↘	652
Poussières (mg/m3)	219 ↘	99
Température des gaz de combustion (°C)	163 ↘	109
Pertes de gaz de combustion (%)	17 ↘	7
Pertes dues à une combustion incomplète (%)	1.5 ↘	1.1
Efficacité globale (%)	81 ↗	93

Systèmes d'épuration des gaz de combustion

Même si les chaudières modernes visent à atteindre non seulement un haut rendement de combustion mais aussi de faibles émissions lors de l'utilisation de l'agrobiomasse, il n'est pas toujours possible de respecter les limites d'émission des différentes réglementations sans utiliser un équipement supplémentaire d'épuration des gaz de combustion.

En fonction de l'application, il existe de multiples solutions disponibles sur le marché pour la réduction des polluants tels que les particules (poussières), les gaz acides et les émissions d'oxydes d'azote.



- Des mesures secondaires peuvent être appliquées pour éliminer les émissions des gaz de combustion une fois qu'ils ont quitté la chaudière.
- Pour la combustion du bois non traité, l'élimination des particules est particulièrement importante.
- Pour les autres types de biomasse, des mesures secondaires supplémentaires peuvent être nécessaires, en fonction de la composition élémentaire et des caractéristiques du combustible de biomasse sélectionné et de la technologie de combustion.
 - Technologies de contrôle des particules
 - Technologies de contrôle des NOx
 - Technologies de contrôle des SOx



Élimination des oxydes d'azote :

- Dans les cas où il est nécessaire de réduire les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) des chaudières à agrobiomasse, l'application des techniques de réduction sélective non catalytique (SNCR) peut être très efficace.
- Pour la dénitrification des gaz d'échappement des chaudières à agrobiomasse, la méthode de réduction sélective non catalytique (SNCR) est très efficace et permet d'obtenir des réductions de NO_x de l'ordre de 20 à 70 %.
- Les technologies de réduction catalytique sélective (SCR) permettent d'obtenir une réduction encore plus importante des NO_x (jusqu'à 90 %), mais ces systèmes ne sont utilisés que dans des applications industrielles à grande échelle.

Réduction sélective non catalytique (SNCR)

- La SNCR consiste à injecter de l'ammoniac ou de l'urée dans le foyer d'une chaudière, à un endroit où les gaz de combustion se trouvent à une température comprise entre 900 et 1 100 °C, pour réagir avec les oxydes d'azote formés lors de la combustion.
- Le produit résultant de la réaction chimique d'oxydoréduction est l'azote moléculaire (N₂), le dioxyde de carbone (CO₂) et l'eau (H₂O).
- Étant donné qu'un certain volume de foyer est nécessaire pour disperser et évaporer l'additif, la SNCR n'est pas pertinente pour les chaudières de petite puissance.

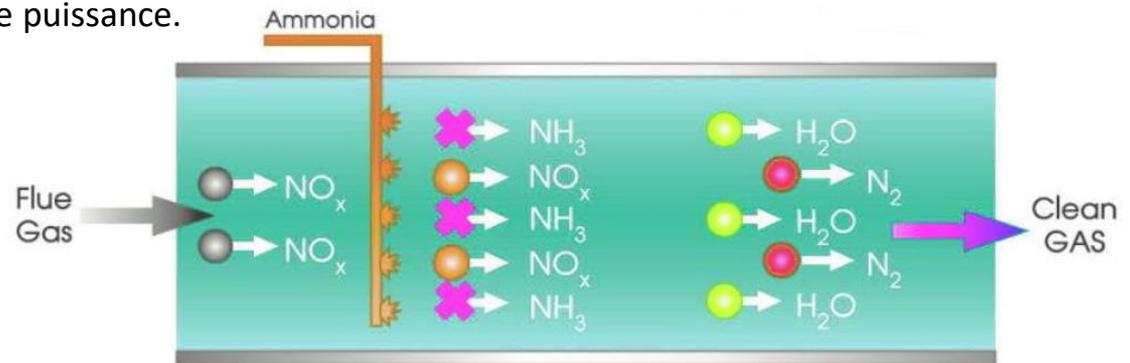


Figure 23: Selective non-catalytic reduction [Image source: IFS²³]

Contrôle des poussières : Pour réduire les émissions de poussières, on peut utiliser des séparateurs cycloniques, des précipitateurs électrostatiques (ESP) ou des filtres à manches.

Séparateurs cycloniques

- Les cyclones sont des conteneurs coniques qui éliminent les particules des flux de gaz de combustion tournant à grande vitesse par le biais d'une séparation par vortex.
- Les gaz de combustion s'écoulent en hélice avant de sortir du séparateur cyclonique en ligne droite par le centre du cyclone et par le haut.
- Les particules dans le flux rotatif ont trop d'inertie pour être suivies et frappent donc la paroi extérieure, puis tombent au fond du séparateur cyclonique, d'où elles sont retirées.

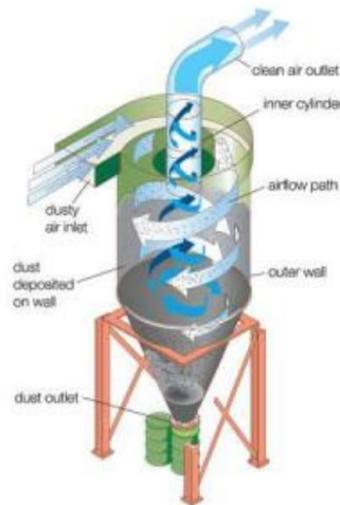


Figure 17: Flow pattern through a typical cyclone separator [Image source: baqhouse.com]



Figure 18: Example of cyclone [Image source: indiamart.com]

Filtres à manches

- Les filtres en textile ou à manches utilisent la filtration pour séparer les particules de poussière des gaz poussiéreux.
- Ils sont l'un des types de dépoussiéreurs les plus efficaces disponibles et peuvent atteindre une efficacité de collecte de plus de 99 % pour les particules très fines.
- Les filtres en tissu ne sont pas utilisés dans les applications à petite échelle en raison de la nécessité d'utiliser de l'air comprimé pour le nettoyage, de l'encombrement élevé et du fait que la condensation de la vapeur d'eau dans le filtre doit être évitée, ce qui ne peut être garanti pendant le fonctionnement à charge partielle des petites chaudières.

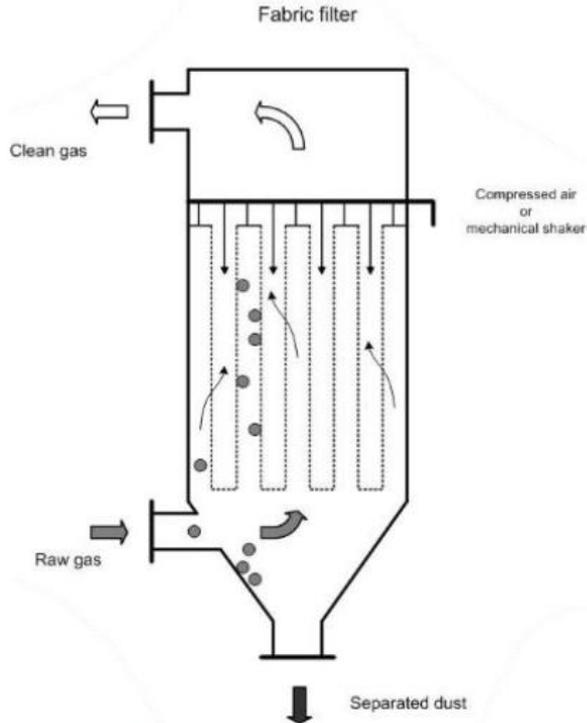


Figure 19: Fabric filter diagram [Image source : EMIS¹⁹]



Figure 20: Example of baghouse [Image source: www.baghouse.com]

Précipitateurs électrostatiques (ESP)

- Les ESP utilisent les forces électrostatiques pour séparer les particules de poussière des gaz de combustion.
- Une ou plusieurs (selon la taille du filtre) électrodes de décharge à haute tension sont placées entre des électrodes collectrices mises à la terre.
- Les particules reçoivent une charge négative lorsqu'elles traversent le champ ionisé entre les électrodes ; elles sont alors attirées par une électrode mise à la terre ou chargée positivement et y adhèrent.

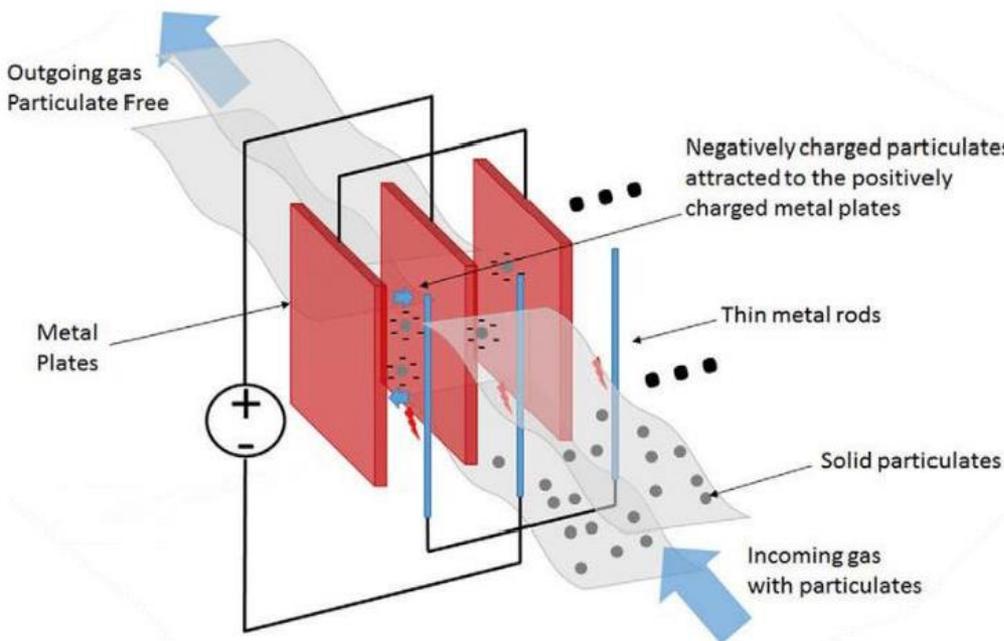


Figure 21: ESP conceptual diagram [Image source: (Becker et al., 2016)²⁰]



Figure 22: Example of ESP for up to 100 kW [Image source: OekoSolve²¹]

Contrôle des composants acides des gaz de combustion : Pour l'élimination du HCl et du SO₂, les systèmes d'adsorption sèche peuvent être utilisés dans les applications de chauffage de l'agrobiomasse.

Réduction sélective non catalytique (SNCR)

- La séparation des constituants acides des gaz de combustion par adsorption sèche est une réaction gaz/solide simultanée et absorbante qui a lieu dans l'absorbant utilisé dans le procédé.
- Dans ce processus, les polluants gazeux sont liés à la surface du solide introduit.
- Les additifs peuvent ensuite être séparés des gaz de combustion avec les particules de poussière (généralement dans un filtre en tissu).
- Ces systèmes se caractérisent par l'additif appliqué et peuvent être des systèmes à base de sodium (application de NaHCO₃) ou de chaux (application de Ca(OH)₂).

Sommaire :

1. **Types d'agrobiomasse**
2. **La combustion de la biomasse**
3. **Technologies pour la combustion de l'agro-biomasse**
 - 3.1 Différents types de technologies
 - 3.2 Les principales innovations
 - 3.3 Retours d'expérience positifs
4. **Exploitation d'installations d'agrobiomasse**
 - 4.1 Problèmes techniques couramment rencontrés et leurs solutions
 - 4.2 Agroénergie : "concevoir pour résoudre les problèmes"
5. **Émissions générées par la combustion de l'agro-biomasse**
 - 5.1 Types de composés, problèmes associés et limites d'émission
 - 5.2 Cadre réglementaire**
6. **Types et sources de matières premières et logistique de collecte**
 - 6.1 Localisation des matières premières (outils utiles et cartographie)
 - 6.2 Logistique de collecte
 - 6.3 Coûts de la collecte et machines nécessaires



Le règlement sur l'écoconception

Le règlement fournit les définitions suivantes :

- "biomasse ligneuse" : la biomasse provenant d'arbres, de buissons et d'arbustes, y compris le bois en grumes, le bois en copeaux, le bois comprimé sous forme de granulés, le bois comprimé sous forme de briquettes et la sciure de bois.



- "biomasse non ligneuse" : la biomasse autre que la biomasse ligneuse, y compris la paille, le miscanthus, les roseaux, les amandes, les grains, les noyaux d'olive, les tourteaux d'olive et les coquilles de noix



À ce titre, l'écoconception exclut de son champ d'application de nombreux types d'agrobiomasse ; elle inclut toutefois les résidus d'égavage agricole et la biomasse issue de l'enlèvement des plantations, car elle peut être classée comme "ligneuse".



Règlement sur l'écoconception : limites saisonnières de rendement et d'émissions pour les chaudières à biomasse solide

Méthode d'alimentation	Puissance calorifique nominale	Efficacité énergétique saisonnière du chauffage des locaux	Limites d'émission saisonnière pour le chauffage des locaux (mg/m ³ à une concentration d'oxygène de 10 %)			
			Monoxyde de carbone CO	Composés gazeux organiques, OGC	Particules, PM	Oxydes d'azote, NO _x
Manuel	≤ 20 kW	≥ 75 %	700	30	60	200
	> 20 kW	≥ 77 %				
Automatique	≤ 20 kW	≥ 75 %	500	20	40	
	> 20 kW	≥ 77 %				
Critères de référence pour les meilleures techniques disponibles (MTD)		90 % de condensation 84 % sans condensation	6	1	2	97

Note: Au moment de l'entrée en vigueur du règlement, aucune chaudière à combustible solide n'a été identifiée comme satisfaisant à toutes les valeurs de référence. Plusieurs chaudières à combustible solide satisfaisaient à une ou plusieurs de ces valeurs.

Source: AgroBioHeat D4.2 – Agrobiomass Fuels and Utilization Systems

Directive sur les installations de combustion moyenne

La directive sur les installations de combustion moyennes (ICM) régleme les émissions des installations de combustion dont la puissance thermique est comprise entre 1 et 50 MW.

La directive MCP inclut l'agrobiomasse dans son champ d'application et introduit en fait des limites d'émission spécifiques pour la paille.

Certaines installations sont exclues de son champ d'application, telles que les "installations de combustion à la ferme d'une puissance thermique nominale totale inférieure ou égale à 5 MW, qui utilisent exclusivement du fumier de volaille non transformé, comme combustible".

Les principales limites d'émission pour les installations de combustion utilisant de la biomasse solide sont indiquées à l'annexe II de la directive ; il convient de noter que certaines exceptions pour des installations spécifiques peuvent s'appliquer

Type d'installation de combustion moyenne (autres que les moteurs et les turbines à gaz)	Puissance thermique nominale (MW)	Limites d'émission (mg/m ³ à une concentration d'oxygène de 6 %) pour la biomasse solide		
		Dioxyde de soufre, SO ₂	Oxydes d'azote, NO _x	Poussières
Existant	1 - 5	200 * / 300 (straw)	650	50
Existant	> 5	200 * / 300 (straw)	650	30
Nouveau	1 - 5	200 *	500	50
Nouveau	5 – 20	200 *	300	30
Nouveau	20 – 50	200 *	300	20

* Non applicable pour les installations utilisant exclusivement de la biomasse ligneuse.

Sommaire :



- 1. Types d'agrobiomasse**
- 2. La combustion de la biomasse**
- 3. Technologies pour la combustion de l'agro-biomasse**
 - 3.1 Différents types de technologies
 - 3.2 Les principales innovations
 - 3.3 Retours d'expérience positifs
- 4. Exploitation d'installations d'agrobiomasse**
 - 4.1 Problèmes techniques couramment rencontrés et leurs solutions
 - 4.2 Agroénergie : "concevoir pour résoudre les problèmes"
- 5. Émissions générées par la combustion de l'agro-biomasse**
 - 5.1 Types de composés, problèmes associés et limites d'émission
 - 5.2 Cadre réglementaire
- 6. Types et sources de matières premières et logistique de collecte**
 - 6.1 Localisation des matières premières (outils utiles et cartographie)**
 - 6.2 Logistique de collecte
 - 6.3 Coûts de la collecte et machines nécessaires



- **Observatoire AgroBioHeat** : Permet de visualiser les données pour l'Europe, concernant les types de biomasse, les différents acteurs, les certifications de la biomasse...

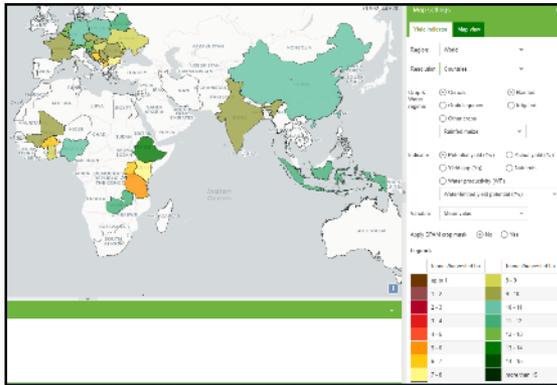
Show 25 entries

Search:

Category	Case name	City	Country	Website
Fuel Suppliers	PJSC «Zaporozhye Oil Extraction Plant»	Zaporizhzhya	Ukraine	zmez.com.ua
Equipment Manufacturers	Wichlacz	Zaporizhzhia	Ukraine	www.wichlacz.com.ua
Heating Cases	Ørnhoj-Grønbjerg Kraftvarmeværk	Ørnhoj	Denmark	www.vtv-vildbjerg.dk/varme/oernhoej-groenbjerg-kraftvarmevaerk
Other Use Cases	Masnedø Kraftvarmeværk	Nørre Alslev	Denmark	www.vordingborgforsyning.dk
Equipment Manufacturers	Volyn-Kalvis Ltd	Kovel	Ukraine	www.volyn-kalvis.com.ua
ESCOs & Installers	VIVENDIO SOSTENIBILIDAD ENERGETICA, S.L.	GRANADA (GRANADA)	Spain	www.vivendio.es
Other Use Cases	VIOPAR Energia S.A.	Volos	Greece	www.viopar-energy.gr
Other Use Cases	Vioenergiaki Patridas	Patrida Imathias	Greece	www.vioenergiakipatridas.gr/
Heating Cases	Domaine Xavier Muller	Marlenheim	France	www.vin-alsace-muller.fr
Heating Cases	Vilafranca del Penedès	Vilafranca del Penedès	Spain	www.vilafranca.cat
Equipment Manufacturers	Viessmann Holzfeuerungsanlagen GmbH	Hard	Austria	www.viessmann.com
Heating Cases	Vennerslund	Norre Alslev	Denmark	www.vennerslund.dk
ESCOs & Installers	VALPLUS ENERGIA, S.L E	CAMPILLOS (MÁLAGA)	Spain	www.valplus.es
ESCOs & Installers	URBIC, S.L.	ZARAGOZA (ZARAGOZA)	Spain	www.urbic.es

<https://www.agrobiomass-observatory.eu/?handler=Search>

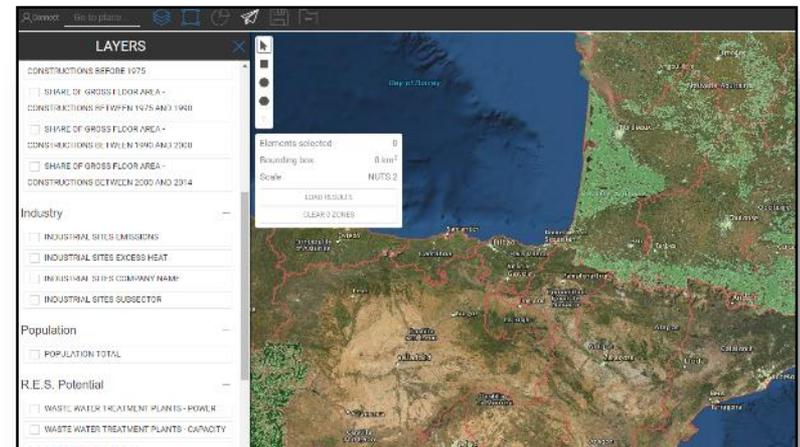
- **Yieldgap:** Atlas où vous pouvez filtrer et trouver les différents rendements des cultures dans le monde entier.



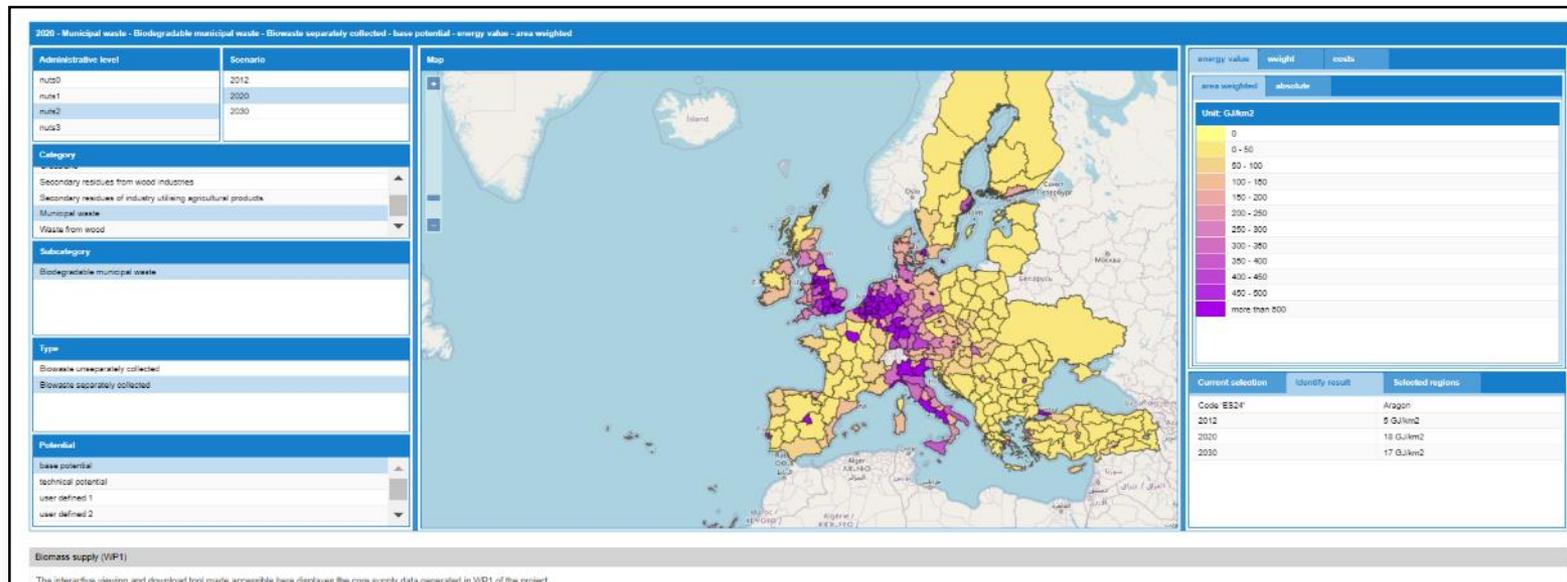
<https://www.yieldgap.org/gygaviewer/index.html>

- **Hotmaps:** Hotmaps est un logiciel en ligne basé sur le SIG qui aide les autorités et les planificateurs énergétiques à établir un plan stratégique de chauffage et de climatisation pour leur région.

<https://www.hotmaps.eu/map>

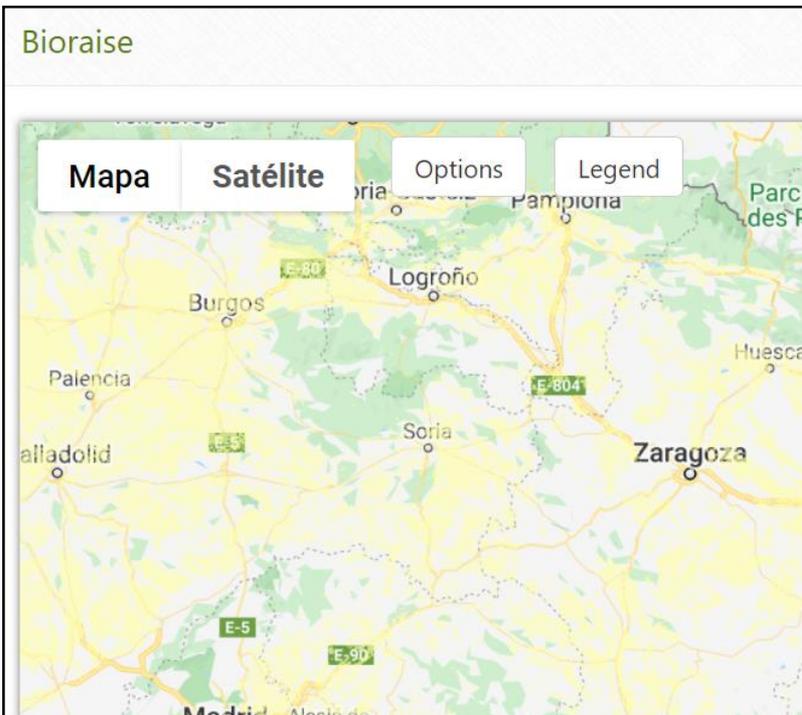


- S2BIOM:** l'objectif principal du projet S2Biom est de soutenir la fourniture durable de matières premières de biomasse non alimentaire au niveau local, régional et paneuropéen grâce à des ensembles de données harmonisés et actualisés au niveau local, régional, national et paneuropéen pour l'UE28, les Balkans occidentaux, la Moldavie, la Turquie et l'Ukraine.



<https://s2biom.wenr.wur.nl/home>

- BioRaise:** Un outil qui fournit des informations sur les ressources en biomasse agricole et forestière de terrain ayant un potentiel d'utilisation énergétique en Croatie, Slovénie, Espagne, France, Grèce, Italie, Portugal et Turquie, ainsi que sur les producteurs de sous-produits agro-industriels et les acteurs du marché de la bioénergie. La plateforme permet de calculer les ressources de biomasse mentionnées et leurs coûts de récolte et de transport.



Calculation results

Forest Biomass	Potential resources (tDM/year)	Available resources (tDM/year)	Average cost of collection (€/tDM)	Surface of potential resources (ha)	Surface of available resources (ha)	Average transport cost (€/tDM)
Conifers	39,435.51	13,330.76	57.28	71,846.47	66,557.17	14.4
Broadleaved species	47,367.88	15,914.92	48.66	36,769.06	34,518.74	15.26
Mixed	16,952.18	6,082.64	51.89	25,783.82	25,193.79	15.02
Shrub	133,166.84	31,342.93	41.27	266,164.22	155,047.75	14.51

Transportation fuel cost €/liter

Energy content

Agricultural Biomass	Available resources (tDM/year)	Moisture content (% w.b.)	Available resources (tWM/year)	Ash value mean reference (% d.b.)	Energetic content (GJ/year)	Average cost of collection (€/GJ)	Average transport cost (€/GJ)
Rainfed crops	448,987.13	<input type="text" value="35"/>	690,749.43	6.1	7,077,625.91	2.58	0.82

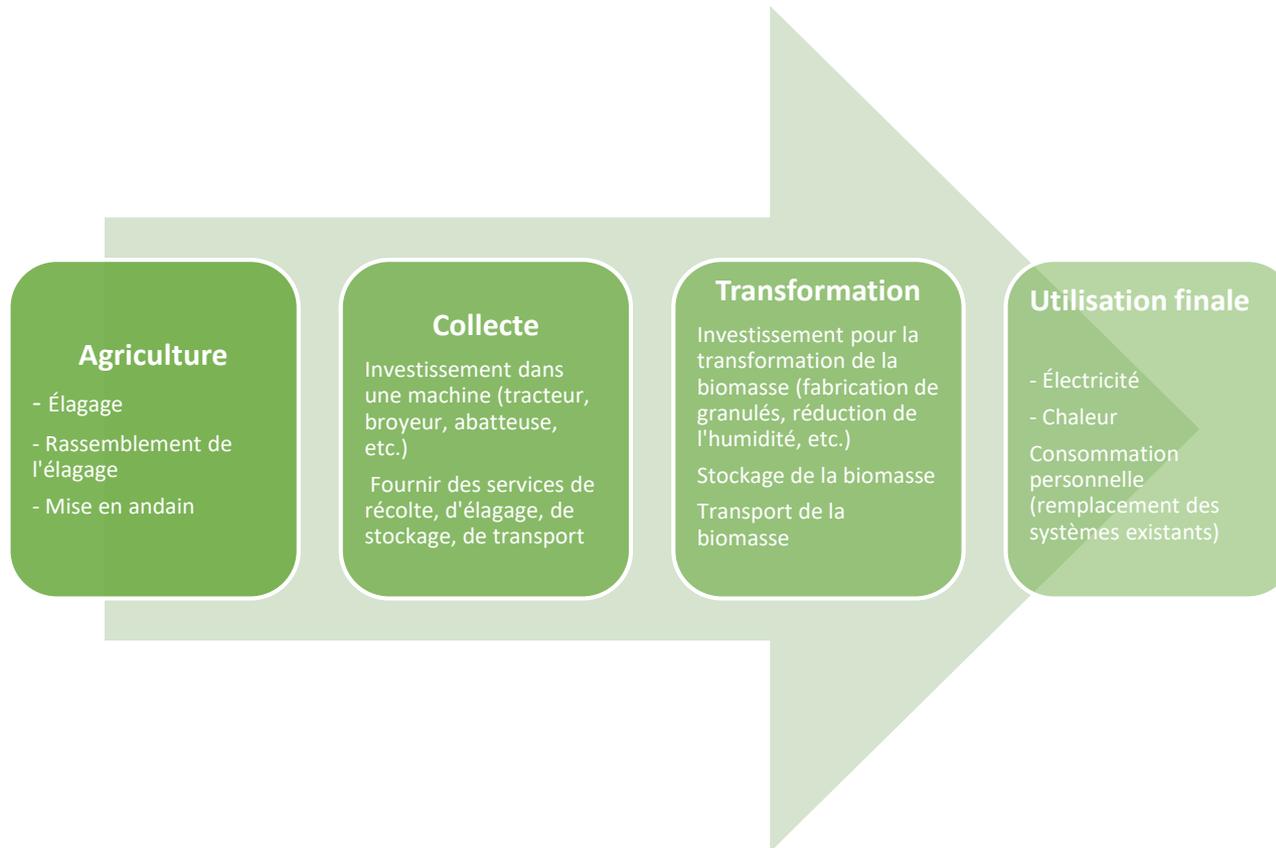
<http://bioraise.ciemat.es/Bioraise/home/main>

Sommaire :

1. **Types d'agrobiomasse**
2. **La combustion de la biomasse**
3. **Technologies pour la combustion de l'agro-biomasse**
 - 3.1 Différents types de technologies
 - 3.2 Les principales innovations
 - 3.3 Retours d'expérience positifs
4. **Exploitation d'installations d'agrobiomasse**
 - 4.1 Problèmes techniques couramment rencontrés et leurs solutions
 - 4.2 Agroénergie : "concevoir pour résoudre les problèmes"
5. **Émissions générées par la combustion de l'agro-biomasse**
 - 5.1 Types de composés, problèmes associés et limites d'émission
 - 5.2 Cadre réglementaire
6. **Types et sources de matières premières et logistique de collecte**
 - 6.1 Localisation des matières premières (outils utiles et cartographie)
 - 6.2 Logistique de collecte**
 - 6.3 Coûts de la collecte et machines nécessaires



Groupe d'opérations qui ont lieu sur une chaîne de valeur



- Les activités nécessaires pour fournir des agrocombustibles depuis son point de production jusqu'aux installations de chauffage sont les suivantes :
 - Récolte/collecte
 - Manipulation et transport sur le terrain
 - Stockage
 - Chargement et déchargement de véhicules de transport
 - Traitement de la biomasse
 - Transport



- La chaîne d'approvisionnement en biomasse présente plusieurs caractéristiques qui la différencient d'une chaîne d'approvisionnement typique
 - Disponibilité saisonnière
 - Matériaux de faible densité
 - Équipement de collecte et de manutention sur mesure



- Besoins saisonniers en ressources
- Besoin accru d'équipements de transport/manutention et d'espace de stockage
- Structure compliquée de la chaîne d'approvisionnement



Augmente les coûts de la chaîne d'approvisionnement et nécessite une conception spécifique.

- Les trois groupes d'acteurs clés participant à la chaîne de valeur de la biomasse : types d'acteurs, interrelations et rôles principaux



PRODUCTEURS DE BIOMASSE



APPROVISIONNEMENT ET TRAITEMENT DE LA BIOMASSE



CONSOMMATEUR (Conversion d'énergie)



Rôle clé :
 Trouver la meilleure forme pour réaliser des économies dans la gestion de la biomasse.
 Établir un dialogue et une collaboration avec les acteurs en aval.

- Agriculteurs
- Coopératives
- Sociétés productrices de fruits/olives/vignes

Rôle clé :
 Établir un dialogue et un accord avec le producteur de biomasse.
 Organiser la logistique et le traitement afin de préserver la qualité tout en maintenant les dépenses à un niveau bas.

- Entreprises d'agro-services
- Entreprises de services forestiers
- Fournisseurs de biomasse
- Détaillants en résidus
- Sociétés de services énergétiques
- Usines de conversion de la biomasse
- Plateformes biomasse
- Services publics

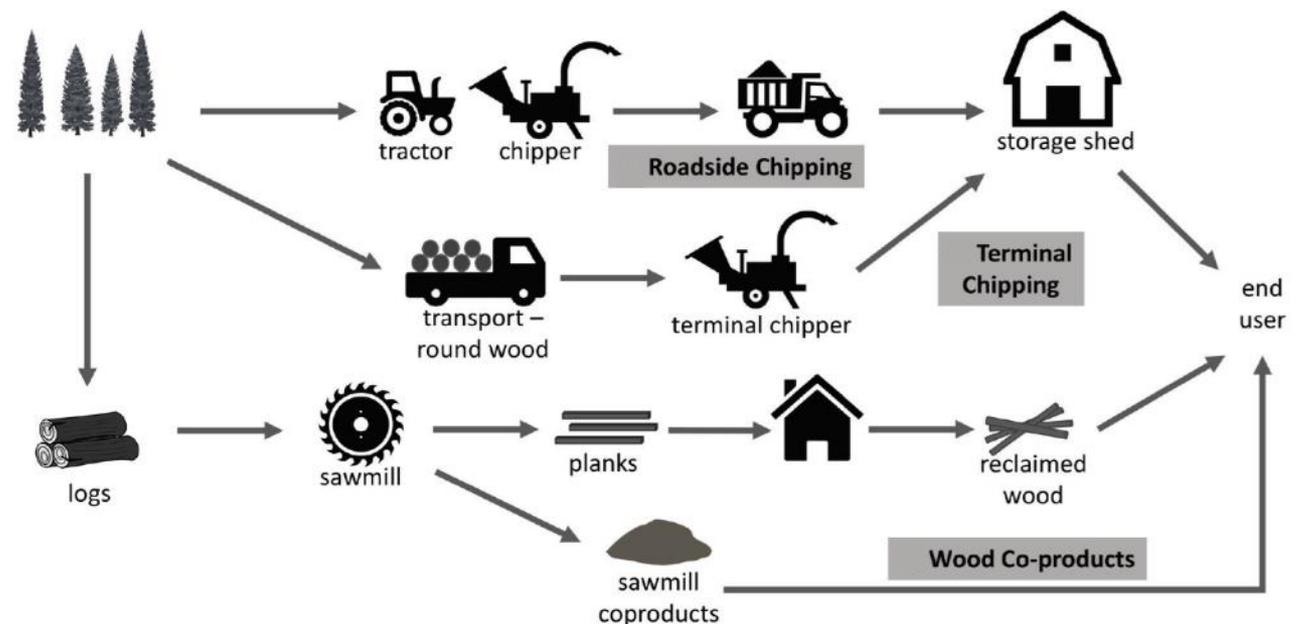
Rôle clé :
 Fournir aux fournisseurs les paramètres de qualité à respecter.
 S'assurer que cette biomasse peut être utilisée dans ses installations avant que tout acteur ne réalise un investissement.

- Logements
- Agro-industries
- Chaleur industrielle
- Secteur tertiaire
- Réseaux de chaleur urbains
- Centrales électriques et centrales de cogénération

SELF-CONSUMPTION

- Chauffage à la ferme
- Chauffage de serre
- Demande d'énergie pour la transformation des denrées alimentaires et des aliments

- Il est essentiel que les chaufferies reçoivent un approvisionnement régulier et constant en biomasse combustible répondant aux critères de qualité spécifiés. Le système d'approvisionnement en biomasse doit donc pouvoir fonctionner de manière efficace et fiable.
- Une chaîne d'approvisionnement en biomasse typique se compose de plusieurs processus distincts. Ces processus peuvent inclure la récolte, la manutention, le stockage, le transport sur le terrain/en forêt, le transport routier et l'utilisation du combustible dans la centrale de chauffage.



Example of different paths from forest feedstock to energy conversion

- La collecte de la biomasse implique la collecte, l'emballage et le transport de la biomasse vers un site proche pour un stockage temporaire.



Balles



Chargement

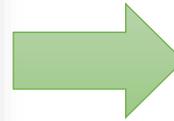


Broyage

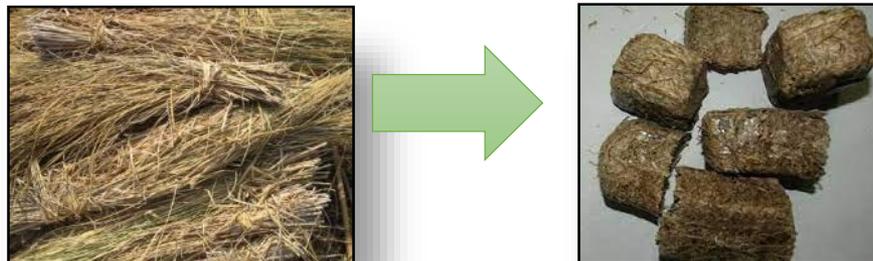


Récolte

Prétraitement : Il est intéressant d'effectuer le moins de prétraitement possible, car cela augmente le prix du carburant tout au long de la chaîne de valeur, mais cela peut être nécessaire ou utile pour diminuer la contamination ou les prix de transport (plus de densité, moins de coût de transport par unité de volume).



- Broyage : Le transport de l'arbre entier n'est pas efficace, et un broyage sur le terrain est une bonne alternative (il est plus facile de transporter l'arbre après qu'il ait été broyé que de transporter l'arbre entier). Les déchiqueteuses ne conviennent que pour la partie aérienne de l'arbre, si les racines et les souches sont incluses, un broyeur ou un déchiqueteur doit être utilisé, afin d'éviter que la terre et les pierres ne contaminent la biomasse.
 - Broyage séquentiel en deux étapes
 - Séparation pneumatique
 - Broyage fractionné
- Séchage
- Densification : Le séchage et la densification augmentent la densité énergétique du combustible, ce qui permet de le brûler plus facilement et de manière plus écologique.



FACTEURS INFLUENÇANT LA DISTANCE DE TRANSPORT

La zone de collecte de la ressource en biomasse et donc la distance de transport sur laquelle la biomasse devra être déplacée entre les lieux de stockage et les chaufferies dépendront d'un certain nombre de facteurs clés. Ces facteurs sont les suivants

- La taille de la chaufferie et la technologie de conversion utilisée.
- Le rendement de la récolte obtenue
- la proportion de terres autour de la chaufferie plantées de cultures énergétiques à base de biomasse, ou de cultures dont la biomasse est un sous-produit (paille, par exemple) ou la densité de l'exploitation forestière dans le cas du combustible forestier
- Disponibilité de la matière pour la ressource en biomasse (par exemple, la paille a des utilisations concurrentes et, par conséquent, seule une partie de la production totale sera disponible pour être utilisée dans des programmes de biomasse).
- En plus d'être important en raison du rôle qu'il joue dans la circulation régulière du combustible entre le point de production et de consommation, le transport est également important en raison des coûts qui y sont associés.

- L'infrastructure de transport est généralement telle que le transport routier sera le seul mode potentiel de collecte du combustible.

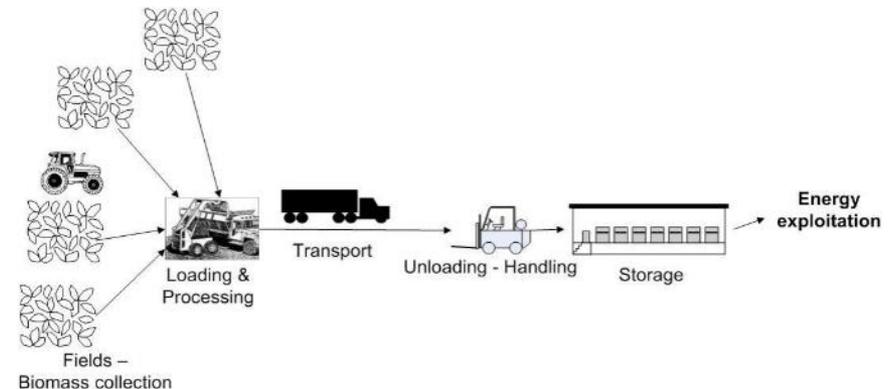
IMPACT DES CARACTÉRISTIQUES DE LA BIOMASSE SUR LES COÛTS DE TRANSPORT

- Lorsque l'on considère les coûts logistiques associés à une charge particulière telle qu'un combustible de biomasse, il faut tenir compte d'un certain nombre de facteurs clés concernant les caractéristiques du produit

- Rapport volume/poids
- Rapport valeur/poids
- Caractéristiques spéciales



- Différentes options de stockage : Dans la plupart des cas, on adopte la solution la plus économique possible, sans examiner l'effet que cette solution peut avoir sur le coût total du système.
 - Stockage direct sur le terrain
 - Stockage intermédiaire (entre le champ et la chaufferie) - nécessité de payer deux fois les coûts de transport.
 - Stockage à côté de la centrale électrique (l'utilisation d'installations de stockage rattachées à la centrale électrique est le seul cas viable pour accélérer le processus de séchage de la biomasse, car la chaleur évacuée peut être utilisée sans consommation d'énergie supplémentaire).



Rentizelas, A. Tolis, A. Tatsiopoulos, I.P. (2009), 'Logistics issues of biomass: the storage problem and the multi-supplier biomass chain', *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13 (4), pp. 887-894 [\[Introduction intéressante\]](#)

https://www.researchgate.net/publication/223824022_Logistics_issues_of_biomass_The_storage_problem_and_the_multi-biomass_supply_chain



Récolte

- Mise en balles
- Chargement
- Déchiquetage
- Récolte de l'ensemble de la culture



Transport

- Distance
- Propriétés de la biomasse
- Terminal time



Stockage

- Stockage aux champs
- Stockage intermédiaire
- Stockage sur site

Sommaire :

1. **Types d'agrobiomasse**
2. **La combustion de la biomasse**
3. **Technologies pour la combustion de l'agro-biomasse**
 - 3.1 Différents types de technologies
 - 3.2 Les principales innovations
 - 3.3 Retours d'expérience positifs
4. **Exploitation d'installations d'agrobiomasse**
 - 4.1 Problèmes techniques couramment rencontrés et leurs solutions
 - 4.2 Agroénergie : "concevoir pour résoudre les problèmes"
5. **Émissions générées par la combustion de l'agro-biomasse**
 - 5.1 Types de composés, problèmes associés et limites d'émission
 - 5.2 Cadre réglementaire
6. **Types et sources de matières premières et logistique de collecte**
 - 6.1 Localisation des matières premières (outils utiles et cartographie)
 - 6.2 Logistique de collecte



6.3 Coûts de la collecte et machines nécessaires



Table 3 – Overview of the (distribution of) capital expenses and labour input.

	Capital expenditure			Total, € ha ⁻¹ y ⁻¹	Labour, h ha ⁻¹ y ⁻¹
	Establishment and planting	Harvesting, field transport and storage	Miscellaneous		
Lignocellulosic crops					
Poplar ^a	94%	5%	0%	143	5.1
Willow ^b	76%	23%	1%	156	5.1
Eucalyptus ^c	Not specified			172	5.1
Herbaceous lignocellulosic crops					
Miscanthus ^d	36%	64%	0%	576	6.6
Switchgrass ^e	13%	84%	3%	512	9.7
Reed canary grass ^f	36%	58%	6%	194	10.6
Oil crops					
Rapeseed ^g	29%	68%	3%	292	7.2
Sunflower ^h	35%	65%	0%	290	8.6
Sugar crops					
Sugar beet ⁱ	38%	59%	3%	839	8.8
Starch crops^j					
Wheat	47%	42%	11%	356	4.4
Rye	47%	42%	11%	356	4.4
Triticale		42%	11%	356	4.4
Corn	47%	42%	11%	356	4.4

Note: indicative values shown

Source: <https://edepot.wur.nl/352633> Biomass Resources Potential and Related costs, REFUEL

c€/kWh	6,1	4,09	-
Palette			
€/tn	282,12	192,94	-
c€/kWh	5,92	4,05	-
Vrac en benne			
€/tn	235,89	149,09	-
c€/kWh	4,95	3,13	-
Vrac en silo			
€/tn	259,83	161,6	111,54
c€/kWh	5,45	3,39	2,53



Evolution of the average olive stone price (€/tn) in Spain.
Source: AVEBIOM, Price index of OIL KERNS for domestic use in Spain

Source: AVEBIOM; Annual prices of biomass for domestic use in Spain.

- Les abatteuses dont l'application principale consiste à abattre et à couper la partie bois, peuvent également couper les grosses branches et les cimes afin de faciliter le travail ultérieur de gestion des déchets.
- Les autochargeurs : Utilisées pour effectuer le déchargement de matériaux, que ce soit pour le bois ou pour l'énergie. Généralement, ce moyen d'extraction est utilisé en conjonction avec d'autres équipements
- Broyage et déchiquetage : Utilisé pour réduire le volume de différents types de biomasse.
 - Broyeurs statiques
 - Broyeurs semi-mobiles
 - Broyeurs mobiles (traînés ou autopropulsés)



- Les machines agricoles peuvent être classées en fonction du travail qu'elles effectuent :
- Le matériel de travail du sol : Il a pour but de préparer le sol arable ou le lit de semence, c'est-à-dire les 30 cm où se produit le développement maximal des racines des plantes, en décompactant le sol.
- De 2 000 à 40 000 €, avec un prix moyen de 31 000 €, selon la technologie et la capacité. Matériel de fertilisation : De 500 à 70 000 € selon la capacité et la technologie de la machine, avec un prix moyen de 10 500 €.
- Matériel de semis, de plantation et de repiquage : De 4 500 à 43 000 €, avec un prix moyen de 16 000 €.
- Machines de récolte et d'emballage/déchiquetage

- Machines de récolte et de traitement du fourrage

Tondeuse (5,000-180,000€)	Alternatif	Lame unique Double lame
	Rotatif	Axe horizontal (fléaux) Axes vertical (disques, tambours)
Andaineurs (3,000-150,000€)	Prise de force motorisée	Enrouleur horizontal, chaînes tournantes
	Entraînement du système de prélèvement sur l'axe horizontal	Fourches verticales et horizontales, peignes oscillants
Vérins	Rouleaux (10,000-60,000€)	
	Fingers	
Presses à balles	Balles carrées (20,000-100,000 €)	
	Balles rondes (10,000-50,000 €)	
Broyeurs (5,000 – 20,000€)		
Granulateurs	Mobile	
	Statique	



Tondeuse r: 2020 Krone
EC320CV – 18,500€

Andaineur : 2021 AGRO-MASZ
BT40 – 10,000€



Broyeur de balles : 2019
KUHN PRIMOR 3570M –
15,000€



Broyeur monté à l'avant avec décharge sur remorque agricole.



Broyeur monté à l'arrière avec déchargement sur remorque agricole.



Broyeur monté à l'arrière avec déchargement sur un bac monté à l'avant de la machine.



Broyeur automoteur

De multiples systèmes et solutions sur le marché



Broyeur remorqué avec décharge en big-bags



Broyeur tracté avec décharge sur remorque agricole.



Déchiquteuse tractée avec benne basculante incorporée



Broyeur tracté avec conteneur basculant intégré déchargeant sur la hauteur



Broyeur monté à l'avant



Broyeur remorqué
avec décharge
remorque agricole.



Broyeur tracté avec
conteneur basculant intégré
déchargeant sur la hauteur



Broyeur remorqué avec
décharge en big-bags

*Peu de systèmes et de solutions
sur le marché*

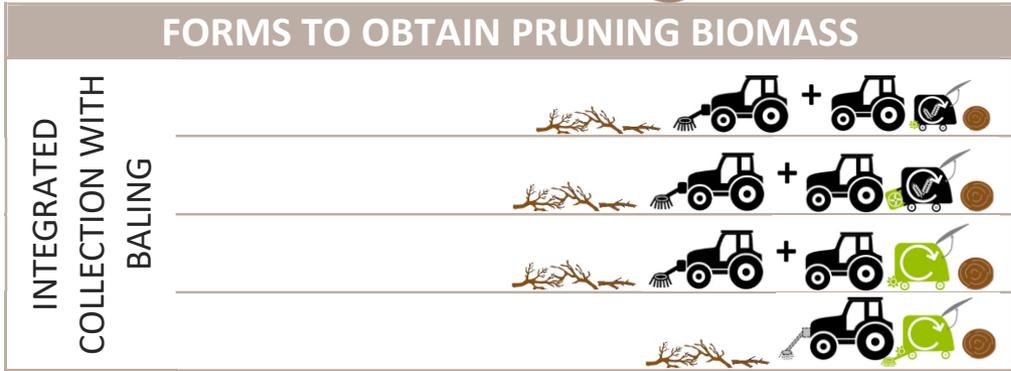
- Déchiqueteuses à tracteur : De 1 000 à 10 000 € (AgriEuro)
- Déchiqueteuses/ broyeuses de jardin à essence : 500 - 14.000€ (AgriEuro)
- Broyeurs de bois et broyeurs de jardin électriques : 200-1.400€ (AgriEuro)



Ceccato Tritone Mega Monster
P.T.O. tracteur professionnel
broyeur déchiqueteur



Élagage presse à balles (petites balles rondes) avec stockage intégré



Presse à foin à balles rondes utilisée pour la mise en balles de l'élagage



Élagage presse à balles rondes

De 10 000 à 150 000 € environ pour les nouveaux modèles, avec un prix moyen d'environ 50 000 €.



Utilisation d'une presse à foin à balles carrées pour la mise en balles de l'élagage



Élagage presse à balles carrées

Source: upRunning – D4.1 Training Materials
Source: Tractorhouse.es

- Sur la base des acteurs identifiés, des coûts déclarés et des résultats de performance obtenus lors des démonstrations, la faisabilité économique est évaluée :
- Ce tableau est un exemple des prix pratiqués dans l'étude de cas de la Cooperativa San Juan Bautista (Espagne).

Description	CAPEX (€)	OPEX (€/year)	Economies (€/year)	Commentaires
Élagage et transport	-	-	-	Même chose que d'habitude, en évitant le temps de brûlage nécessaire en améliorant le ramassage avec l'andaineur
Collecte et transport	-	2,426 €	-	Sous-traitance
Déchiquetage	-	4,662 €	-	Sous-traitance
Utilisateur final	110,000 € (à confirmer par ESCOs)	13,500 €	26,000 €	CAPEX: Investissement pour une nouvelle chaudière à biomasse, un système d'alimentation, une zone de stockage et un chargeur pour alimenter la trémie. OPEX : personnel, mazout pour le chargeur, coût de maintenance, etc. Économies : remplacement des combustibles fossiles

Note: indicative values shown



Promoting the penetration of agrobiomass heating in European rural areas

Merci de votre attention

Lead Beneficiaries



Principaux auteurs

Alessandro Carmona (CIRCE)

Jaime Guerrero (CIRCE)

Clara A. Jarauta Córdoba (CIRCE)



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement No 818369. This document reflects only the author's view. The European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA) is not responsible for any use that may be made of the information it contains.