

Panorama des filières bois-énergie et agrocombustibles en Wallonie

Édition 2018



Rédaction :



AVANT-PROPOS

La valeur ajoutée, tant économique qu’environnementale, visée par ValBiom repose essentiellement sur son positionnement indépendant, sa rigueur scientifique et sur son approche intégrée des filières de valorisation non-alimentaire de la biomasse.

ValBiom produit ses meilleurs efforts pour que les informations contenues dans ce document soient le plus actuelles, complètes et correctes possible. Cependant, ValBiom ne peut en aucun cas être tenu responsable des conséquences qui découleraient de toute utilisation des informations contenues dans ce document et les inexactitudes éventuelles ne peuvent en aucun cas donner lieu à un quelconque engagement de sa responsabilité.

REMERCIEMENTS

L’asbl ValBiom remercie l’ensemble des personnes consultées lors de l’élaboration de ce document. Elle remercie en particulier les différents professionnels du secteur qui ont aimablement fourni des précisions et données techniques. Le temps consacré permet de publier un document pertinent et de qualité.

Chefs de projet bois-énergie et agrocombustibles



Pierre-Louis BOMBECK
Chef de projet
et bois-énergie
T 081 87 58 83
M 0499 83 40 44
pl.bombeck@valbiom.be
ValBiom
Chaussée de Namur, 146
5030 à Gembloux



Lucas GOSSIAUX
Chef de projet
cultures dédiées
T 081 87 58 78
M 0460 97 87 29
l.gossiaux@valbiom.be
ValBiom
Chaussée de Namur, 146
5030 à Gembloux

Sommaire

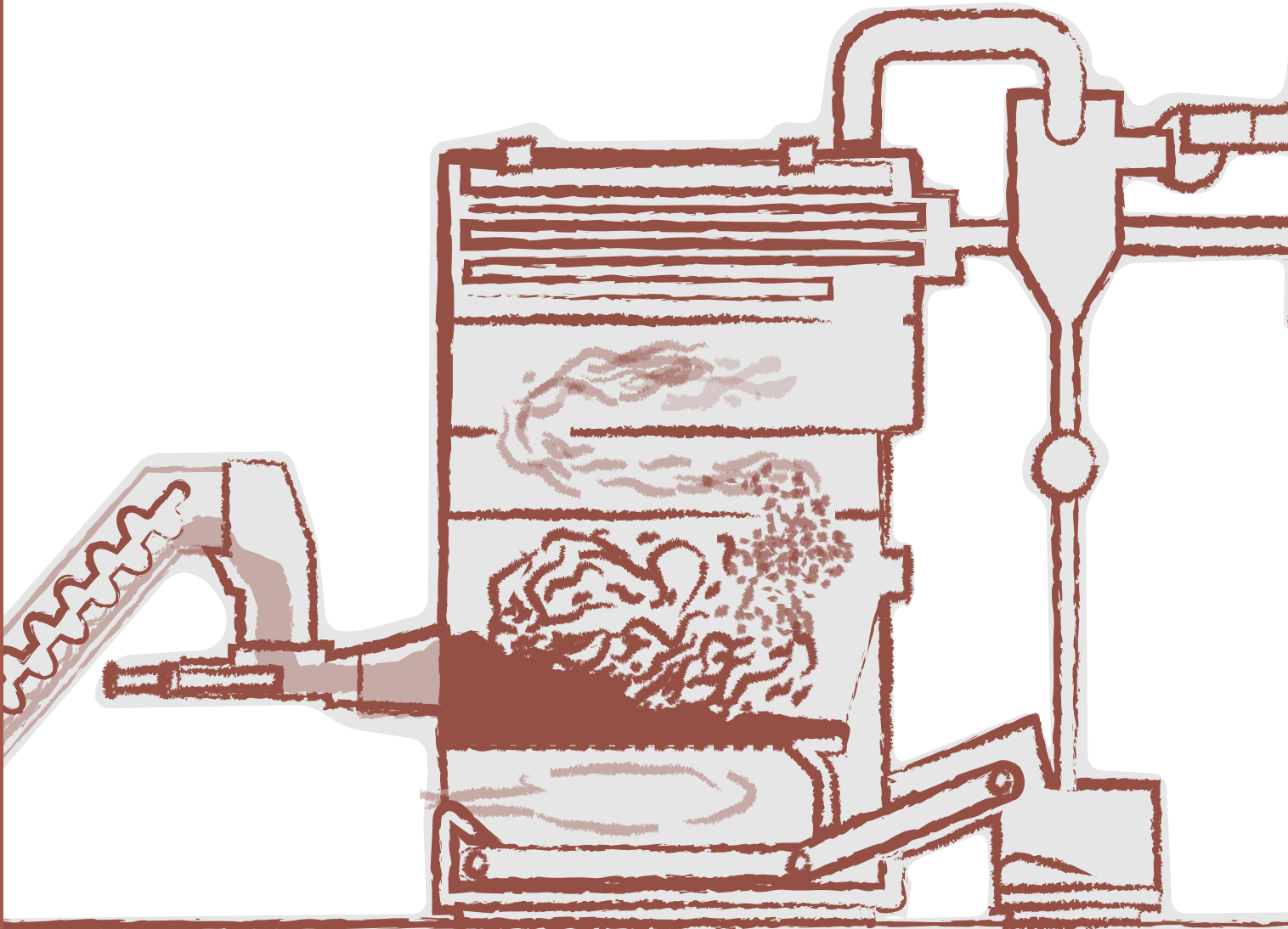
Description des filières et technologies

Caractérisation des combustibles issus de la biomasse	6
Le pouvoir calorifique	6
L’humidité du combustible	6
La masse volumique	7
Le taux de cendres	7
Types de combustibles biomasse	8
Procédés de conversion de la biomasse solide en énergie	14
Pyrolyse	16
Carbonisation	16
Gazéification	16
Combustion	17
Technologies de combustion pour la production de chaleur	19
Petites puissances - Chauffage domestique	19
Grandes puissances - Entreprises et secteur tertiaire	22
Technologies pour la production d’électricité	24
Technologies combustion-vaporisation	24
Technologies à gazéification	25

Suivi des filières bois-énergie et agrocombustibles en Wallonie

La production des agrocombustibles	28
Le bois-énergie au sein de la filière bois wallonne	30
La filière bois et ses produits connexes	30
Flux de bois-énergie	32
Filières de production de combustibles bois	34
Granulés et bois densifié	34
Plaquettes forestières	36
Bois-bûches	36
Évolution des prix des combustibles bois	36
État des lieux des installations à biomasse solide	37
État des lieux de la chaleur bois pour le secteur des entreprises et collectivités	37
État des lieux des cogénérations au bois pour le secteur des entreprises et collectivités	39
Parc de chauffage domestique	39
État des lieux des installations fonctionnant aux agrocombustibles	40

Description des filières et technologies



Caractérisation des combustibles issus de la biomasse

Contrairement aux combustibles fossiles, les combustibles issus de la biomasse (ligneuse et ligno-cellulosique) se présentent sous de nombreuses formes, et possèdent des caractéristiques qui peuvent fortement varier. Il est donc nécessaire de pouvoir estimer la qualité d'un combustible, et principalement sa capacité à fournir plus ou moins d'énergie. Cette capacité peut être mesurée sur base des paramètres suivants.

Le pouvoir calorifique

Le contenu énergétique d'un combustible est exprimé par son pouvoir calorifique. Il représente l'énergie dégagée sous forme de chaleur lors de sa combustion complète, et s'exprime généralement en kilowatts heure (kWh) ou en mégajoules (MJ) par kilogramme ou tonne de matière¹.

On distingue généralement le Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS) et Inférieur (PCI).

Le **PCS** correspond à l'énergie totale dégagée par le combustible en tenant compte de la chaleur latente de la vapeur d'eau émise lors de la combustion. En effet, même si le combustible est parfaitement sec, la réaction de combustion produit de l'eau sous forme de vapeur : si cette vapeur est condensée par la suite, de la chaleur peut être récupérée. Le PCS d'un combustible dépend donc de sa composition chimique, et plus particulièrement de sa teneur en carbone.

Le **PCI** ne tient pas compte de cette chaleur latente. Il dépend donc principalement de la quantité d'eau que contient le combustible : plus il y a d'eau, plus le PCI sera faible car l'eau consomme une partie de la chaleur pour se transformer en vapeur. C'est autant de chaleur perdue pour le chauffage.

La prise en compte du PCS n'a d'intérêt que si l'on réalise la combustion dans une chaudière équipée d'un système de condensation des fumées. Ces appareils étant encore peu courants, dans la pratique on n'utilise que le PCI pour qualifier les combustibles biomasse.

Lorsqu'on fait référence au pouvoir calorifique par unité de volume, on parlera de densité énergétique.

Les tableaux en pages 12 et 13 indiquent le PCI de divers combustibles biomasse à une humidité donnée.

L'humidité du combustible

L'humidité (H), exprimée en pourcents (%), représente la quantité d'eau contenue dans le combustible par rapport à sa masse humide (eau + bois).

$$H\%_{\text{base humide}} = \frac{\text{Contenu en eau du combustible (en kg)}}{\text{Masse totale du combustible (eau + matière sèche, en kg)}} \times 100$$

Comme vu dans le paragraphe précédent, l'humidité va influencer la quantité de chaleur dégagée lors de la combustion.

1. L'unité internationale étant le J/kg. 1 kWh = 3,6 MJ.

La masse volumique

La masse volumique, exprimée en kg/m³ représente la masse de matière par unité de volume. La connaissance de la masse volumique d'un combustible biomasse est importante car celui-ci est parfois vendu par unité de volume alors que **son contenu énergétique dépend surtout de sa masse**.

À titre d'illustration, le bois de chauffage bûche est souvent vendu par **stère**², et les plaquettes ou broyats vendus par **mètres cube apparents (MAP)**.

La masse volumique d'un combustible biomasse varie d'une part en fonction de la biomasse dont il est issu (bois, miscanthus...). D'autre part, elle varie aussi surtout en fonction de la teneur en eau du combustible.

Selon que l'on considère le volume réel (volume plein) ou le volume d'encombrement d'un empilement, on parlera respectivement de la masse volumique réelle (intrinsèque) ou de la masse volumique apparente.

2. Attention, depuis le 1er janvier 1980 et suite à la parution de l'Arrêté Royal du 14 septembre 1970, le stère n'est plus une unité légale de commercialisation du bois. Seul le mètre cube (apparent) de bois peut être utilisé pour la publicité et la commercialisation.
3. Attention, actuellement, la réglementation wallonne considère les cendres comme des déchets, elles ne peuvent être utilisées comme amendement de sols que moyennant autorisation du Département de la Protection des Sols du SPW.

Types de combustibles biomasse

Il existe une multitude de combustibles biomasse, qui diffèrent selon leur origine et leurs formes.

De manière générale, on distinguera les **combustibles ligneux** (bois)⁴, issus principalement de la filière forestière, et les **agrocombustibles**, issus de cultures dédiées ou de sous-produits agricoles.

La norme internationale ISO 17225 permet de classer et de caractériser les différents combustibles biomasse sur des critères internationalement reconnus. Tous les combustibles biomasse ne font par contre pas l'objet d'une certification permettant de garantir le respect de cette norme.

Agrocombustibles



Les agrocombustibles sont de la biomasse végétale produite en zone agricole (donc non-forestière) et qui est destinée à une valorisation énergétique. On peut les classer de deux manières. Dans le premier cas, on distingue les agrocombustibles ligneux (bois ayant poussé en zone agricole) des agrocombustibles ligno-cellulosiques (plantes herbacées). Dans le second cas, on parlera soit de résidus agricoles (paille de froment, anas de lin, chènevotte de chanvre), soit de cultures dédiées (miscanthus, TtCR, panic érigé).

Les agrocombustibles ligneux comprennent les plaquettes de taillis (TCR, TtCR) et résidus de taille de haies entretenues à des fins énergétiques. Ils présentent une bonne densité mais ils sont fort humides à la récolte (± 50 %). Il faudra donc prévoir un espace de stockage le temps qu'ils séchent.

Les agrocombustibles ligno-cellulosiques quant à eux sont moins denses. Par contre, ils ont l'avantage d'être récoltés secs, prêts à l'emploi sans séchage.



Bûches



Les bûches proviennent de l'exploitation de taillis ou de récupération des branches (houppiers) lors de coupes commerciales de bois. Il s'agit de bois dont la qualité et les dimensions ne sont pas suffisantes pour des usages dits nobles comme le sciage, le tranchage ou le déroulage.

Les bûches sont un combustible extrêmement hétérogène. Elles peuvent être d'essences variées, de bois vert ou de bois sec, de gabarits différents, aussi bien rectilignes que noueuses et irrégulières. Leur densité énergétique volumique varie de 1.600 à 2.200 kWh/MAP, selon le type de bois et le coefficient d'empilement. Elles demandent un espace de stockage assez important, de préférence à l'abri des précipitations.

Elles constituent le moyen de chauffage au bois le plus traditionnellement utilisé pour le chauffage domestique. Elles sont plus rarement utilisées pour le chauffage collectif ou industriel car elles demandent beaucoup de manutention (alimentation non-automatique).

Plaquettes



Les plaquettes de bois ou « chips » sont des fragments ou des copeaux de bois dont la taille peut fortement varier d'une catégorie à l'autre. Elles sont

obtenues par déchiquetage ou par broyage de bois de différentes catégories : branches, arbres impropres au sciage, bois bocagers, parcs et jardins, connexes de scieries, bois de rebus ou en fin de vie, taillis à courte rotation...

Faites le plus souvent à partir de bois « frais » (à 40-50 % d'humidité), les plaquettes doivent être séchées avant utilisation. Ce séchage sera naturel (environ six mois, en tas sous abri ventilé) ou artificiel en fonction de l'humidité finale requise et du temps de stockage souhaité. Elles pourront aussi être criblées en fonction de la granulométrie exigée selon le type de chaudière. En général, plus la chaudière est puissante, plus elle tolère une humidité et une granulométrie élevées.

Le PCI des plaquettes est le même que celui du bois dont elles proviennent. Leur densité énergétique volumique varie entre 750 et 1.000 kWh/MAP en fonction de l'humidité et du bois utilisé. Leur masse volumique apparente varie de 200 à 350 kg/MAP selon la granulométrie et l'essence du bois.

Les plaquettes forment un combustible beaucoup plus homogène que les produits de départ. La mise en plaquettes de produits connexes aux dimensions variées permet de faciliter le stockage, le séchage et le transport du combustible. Cette homogénéité et leur taille réduite rendent égale-

ment possible l'automatisation complète de la chaudière qui ne demande aucun chargement manuel.

Écorces



Les écorces proviennent des entreprises de sciage ou des chantiers de découpe. Elles sont plus difficilement valorisables pour la production d'énergie car, d'une part, elles sont généralement fort humides (40 à 60 % HR) et, d'autre part, elles ont un taux de cendres fort élevé. Toutefois, certaines chaudières sont spécifiquement conçues pour faire face à ces deux propriétés. Plus coûteuses, ces installations ne seront rentables que pour des chaufferies de très grande puissance : à la scierie où les écorces ont été produites, ou dans les grosses installations industrielles.

Les écorces trouvent aussi une voie de valorisation dans la filière du paillage horticole.

4. Un document plus détaillé sur les caractéristiques des combustibles bois est disponible sur le site de ValBiom : www.monprojet.labiomasseenwallonie.be (rubrique bois-énergie).

Copeaux derabotage



Les copeaux sont des éclats de bois résultant d’activités comme le rabotage. Ils s’agit d’un combustible généralement très sec et aux dimensions hétérogènes. Ils sont couramment produits en mélange avec de la sciure sèche et des poussières de ponçage.

Leur valorisation énergétique se fait dans des installations adaptées à ce mélange, souvent sur le site même de leur production. Les copeaux peuvent aussi entrer dans la fabrication de briquettes de bois densifié. Ils peuvent aussi être utilisés comme litière de haute qualité pour les animaux tels que les chevaux.

Sciures et poussières de ponçage



Les sciures font aussi l’objet d’un marché pour l’énergie puisqu’elles entrent comme matière première dans la fabrication de pellets ou de bûches de bois densifié. Elles peuvent parfois être utilisées directement en chaudière, généralement sur le site même de leur production, pour le séchage de bois ou le chauffage de locaux.

Pellets ou granulés



Les pellets sont des granulés cylindriques de particules densifiées (de bois, de miscanthus...). Leur diamètre varie entre 6 et 12 mm pour une longueur allant jusque 40 mm. Leur masse volumique apparente est d’environ 650 kg/m³, et leur PCI varie de 4.000 à 4.600 kWh/t pour une humidité inférieure à 10 %. Les pellets de bois sont majoritairement produits à partir de produits connexes de la première transformation du bois, principalement de la sciure, broyée pour obtenir une granulométrie fine et homogène. Le broyat ainsi obtenu est séché et compressé en un matériau plus dense et cohérent. Aucun additif chimique n’est utilisé, la cohésion est assurée par la lignine naturellement

contenue dans le bois.

À l’instar des pellets de bois, des «agropellets» peuvent aussi être produits à partir d’agrocombustibles. Il n’existe cependant pas encore de réelle filière de densification en Wallonie. Des agriculteurs ont néanmoins réalisé des essais, notamment de briquettisation de miscanthus.

La densification permet d’augmenter le contenu énergétique par unité de volume, rendant ainsi le transport du combustible et son stockage plus efficaces. Le procédé de densification a aussi l’avantage de transformer un combustible relativement hétérogène en un produit homogène et standardisé, permettant l’entière automatisation des installations de production d’énergie.

Afin de garantir au consommateur et aux fabricants d’appareils de chauffage une qualité constante, des systèmes de certification ont été développés. Les pellets certifiés doivent alors répondre à un cahier des charges très strict, en matière de qualité de la matière première, de caractéristiques physiques et chimiques, de pouvoir calorifique, etc. Ce cahier des charges existe sous la forme d’une norme internationale ISO : c’est la norme ISO 17225. Cette norme est un document de référence qui définit les caractéristiques des pellets permettant de juger de leur qualité. En Belgique, il existe d’ailleurs un Arrêté Royal qui oblige les fabricants et ven-

deurs de pellets à ne mettre sur le marché que des pellets respectant les exigences de cette norme⁵. La certification garantit donc que les pellets répondent aux spécifications de cette norme, mais également que la production soit réalisée selon un processus contrôlé et validé par un organisme indépendant. En Belgique, deux systèmes de certification sont actuellement utilisés : « DINplus » et « ENplus »⁶.

Actuellement, certaines entreprises travaillent sur un procédé de **torréfaction des pellets** de bois. La torréfaction permettrait d’obtenir un combustible très sec (1 à 5 % H), avec des propriétés hydrophobes, possédant un pouvoir calorifique plus important (5.000 à 7.000 kWh/t), plus homogène et plus friable. Ces caractéristiques font que ce combustible est idéal pour les grosses centrales de production d’énergie. Bien que l’offre mondiale pour ce type de combustible tende à se développer, le marché ne semble pas encore mature pour les pellets torréfiés.

Bûchettes densifiées

Le bois et les agrocombustibles densifiés peuvent également prendre la forme de bûchettes ou de briquettes. De plus grandes dimensions que les pellets (5-10 cm de diamètre ou de largeur pour 20-30 cm de longueur), elles sont fabriquées à partir de copeaux, de plaquettes ou de sciures selon le même principe que les pellets.



Elles ne peuvent pas être utilisées dans des installations automatiques mais gardent les avantages des combustibles à haute densité énergétique. Elles s’utilisent comme produit de substitution des bûches dans les appareils de chauffage domestiques. Leur PCI varie de 4.000 à 4.600 kWh/t.

Charbon de bois



Le charbon de bois est produit par la carbonisation du bois dans une atmosphère pauvre en oxygène. La carbonisation permet d’augmenter significativement le PCI du combustible par concentration du carbone et élimination de l’eau, qui atteint 7.600 à 9.000 kWh/t.

Ce combustible n’est que très rarement utilisé pour le chauffage dans

notre pays, mais reste le combustible de prédilection pour la cuisson sur barbecue étant donné sa capacité à fournir des braises chaudes et continues, sans flammes.

5. « 5 AVRIL 2011. - Arrêté royal déterminant les exigences auxquelles doivent répondre des pellets de bois prévus pour alimenter des appareils de chauffage non industriels » : http://www.etaamb.be/fr/arrete-royal-du-05-avril-2011_n2011024112.html.
6. Plus d’information sur la certification des pellets sur le site de ValBiom : www.monprojet.labiomasseenwallonie.be (rubrique bois-énergie).

Valeurs courantes* pour les principales caractéristiques des différents combustibles biomasse : humidité, PCI, masse volumique apparente et densité énergétique.

COMBUSTIBLE BOIS	ORIGINE	Humidité à l'utilisation (%)	PCI à l'utilisation (MWh/t)	Masse volumique apparente (kg/m³)	Densité énergétique à l'utilisation (MWh/MAP)
Bûches	Forestière	20 - 25	3,7 - 4	420 - 650	1,6 - 2,6
Plaquettes	Forestière Connexes	20 - 25	3,7 - 4,1	200 - 350	0,75 - 1
Copeaux	Connexes	10 - 15	4,3 - 4,6	80 - 110	0,35 - 0,5
Sciures	Connexes	10 - 60	1,6 - 4,5	150 - 450	0,5 - 0,8
Écorces	Connexes	40 - 60	1,4 - 2,8	150 - 250	0,4 - 0,7
Pellets	Connexes	5 - 10	4,6 - 4,8	600 - 650	2,9 - 3,1
Briquettes	Connexes	10 - 12	4,4 - 4,6	800 - 900	3,6 - 3,9

* Le PCI peut varier en fonction de l'humidité. La masse volumique apparente varie en fonction du conditionnement (longueur des bûches, granulométrie des plaquettes...).

AGROCOMBUSTIBLES LIGNEUX	PCI anhydre (MWh/t)	Humidité à l'utilisation (%)	PCI à l'utilisation (MWh/t)	Masse volumique apparente (kg/m³)	Densité énergétique à l'utilisation (MWh/MAP)
Plaquette TtCR	5,5	20 - 25	3,6	250	0,97
Plaquette bocagère	4,9	20 - 25	3,6	250	0,97
AGROCOMBUSTIBLES LIGNO-CELLULOSIQUES	PCI anhydre (MWh/t)	Humidité à l'utilisation (%)	PCI à l'utilisation (MWh/t)	Masse volumique apparente (kg/m³)	Densité énergétique à l'utilisation (MWh/MAP)
Miscanthus – vrac	5,1	10 - 20	4,1	110	0,44
Miscanthus – pellet	5,1	5 - 10	4,5	640	2,9
Panic érigé	5,1	10 - 20	4,1**	110**	0,44
Anas de lin	4,7	10 - 20	4,5	110	0,5
Paille de froment	4,8	10 - 20	4,1	80	0,33
Paille de colza	4,7	10 - 20	4,2	65	0,28

** Estimation égale à la densité du miscanthus

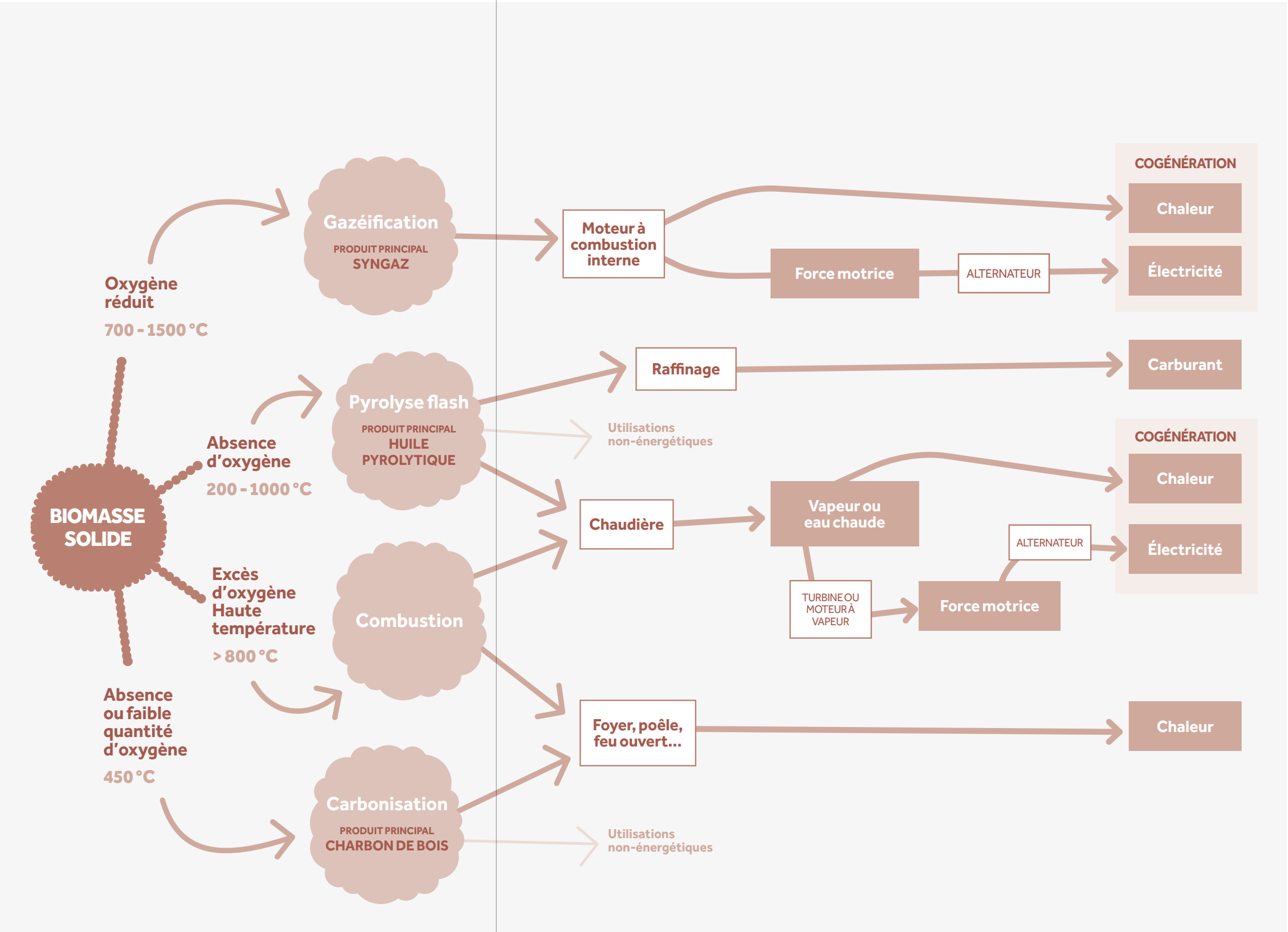
Procédés de conversion de la biomasse solide en énergie

La diversité des technologies de conversion de la biomasse solide en énergie est tout aussi importante que la diversité des applications et diffère selon que l'énergie finale souhaitée sera la chaleur ou l'électricité.

La **combustion** libère immédiatement sous forme de chaleur l'énergie contenue dans la biomasse, tandis que les **autres voies de valorisation** ont pour but de convertir le combustible en un vecteur énergétique plus aisément stockable ou transportable et dont la transformation finale en énergie utile peut être effectuée à un autre moment et à un autre endroit.

Au final, l'énergie primaire sera toujours libérée sous forme de chaleur, via la combustion du vecteur énergétique. Cette chaleur va pouvoir être utilisée pour le chauffage direct ou pour la production d'électricité. Dans le cas de la production d'électricité, lorsqu'une partie de la chaleur de ce procédé est récupérée pour le chauffage, on parle de cogénération : il y a à la fois production de chaleur et d'électricité.

Ces différentes techniques procurent de l'énergie avec des rendements sensiblement différents. En fonction des besoins caractéristiques de chaque situation, une technologie s'imposera plutôt qu'une autre.



Pyrolyse

La pyrolyse est une réaction globale de décomposition de la biomasse sous l'action de la chaleur, en absence ou présence très faible d'oxygène. Sous des températures variant entre 200 et 1.000°C, la biomasse solide se décompose en trois produits :

- un solide à forte teneur en carbone (le charbon) ;
- un gaz formé essentiellement de CO₂, CO, H₂ et CH₄ ;
- une fraction condensable complexe (l'huile pyrolytique).

Ces produits sont tous encore majoritairement combustibles, mais ils peuvent aussi servir à l'élaboration de produits non combustibles à forte valeur ajoutée. En effet, la distillation des produits de la pyrolyse de bois peut fournir de nombreux produits de base à l'industrie chimique, tels que l'acide acétique, le méthanol et d'autres précurseurs et intermédiaires chimiques.

Bien qu'elle constitue l'étape de base des autres réactions thermo-chimiques impliquant la biomasse solide (combustion et gazéification), la pyrolyse fait le plus souvent référence à la production d'huiles pyrolytiques. Il existe beaucoup de procédés différents, mais le plus fréquemment utilisé est la **pyrolyse flash**. Au terme du procédé, environ 65 % de la masse anhydre de la biomasse entrante se retrouve sous forme d'huiles pyrolytiques, 13 % sous forme de gaz et 11 % sous forme de charbon (le solde étant constitué par l'eau de réaction). Près

de 70 % de l'énergie initiale contenue dans la biomasse se retrouve dans les huiles pyrolytiques.

Le principal avantage de la pyrolyse est de convertir un combustible solide en un liquide au contenu énergétique plus élevé (l'huile pyrolytique). Cette forme d'énergie est donc plus facilement stockable et transportable que la biomasse brute. Ainsi, la production d'huiles pyrolytiques permet de scinder le moment et le lieu d'exploitation du bois de ceux de son utilisation énergétique finale.

Aucune installation de ce type n'existe au niveau industriel en Wallonie.

Carbonisation

La carbonisation est une pyrolyse optimisée pour la production de charbon de bois. Elle consiste à soumettre le bois à des températures de l'ordre de 450°C, avec un temps de séjour long (quelques heures ou jours) et en présence d'une quantité très faible d'oxygène. La carbonisation permet d'obtenir environ 30 % de charbon par rapport à la masse initiale anhydre de biomasse, mais ce charbon contient 65 % de l'énergie initiale : l'énergie y est donc plus concentrée.

Très largement utilisée jusqu'à la seconde guerre mondiale, la carbonisation a fait l'objet d'un développement industriel à travers le monde. En Belgique, un type très répandu de four industriel a été développé (four Lambiotte). À l'heure actuelle, plus aucune unité de carbonisation de bois n'est active en Wallonie.

Gazéification

La gazéification est une voie intermédiaire entre la pyrolyse et la combustion. Conduite en présence d'une quantité réduite d'oxygène, la gazéification transforme la biomasse en un mélange de gaz par un procédé thermo-chimique (contrairement à la biométhanisation qui est un procédé biologique). La gazéification permet de transformer 80 % de la biomasse anhydre en mélange gazeux contenant jusqu'à 75 % de l'énergie initialement contenue dans la biomasse. Ce mélange, appelé syngaz, contient de l'hydrogène (H₂), du mono- et dioxyde de carbone (CO et CO₂), des goudrons et de l'eau. Les deux premiers gaz (H₂ et CO) sont combustibles et leur teneur déterminera le pouvoir calorifique du syngaz. Quand les installations le permettent, il n'est pas nécessaire d'éliminer les goudrons qui ont l'avantage d'élever le PCI des effluents gazeux.

L'avantage de la transformation en gaz est son utilisation dans un moteur à combustion interne pour produire de l'électricité. Toutefois, vu son contenu énergétique faible par rapport à celui du gaz naturel, il n'est pas économiquement rentable de transporter le syngaz, même comprimé, sur de longues distances.

En Wallonie, la gazéification du bois offre une solution compétitive par rapport à la combustion lorsqu'elle vise la production simultanée de chaleur et d'électricité (cogénération) dans des gammes de puissance comprises entre 300 et 1.000 kW_é. À ce jour, il en existe deux en fonctionnement. Au-delà de cette puissance, les tur-

bines-vapeurs sont plus adaptées.

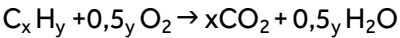
Pour les petites puissances (30 à 50 kW_é et 100 à 110 kW_{th}), il existe des systèmes intégrés de gazéification et moteur de cogénération. En Wallonie, 2 installations sont déjà en fonctionnement.

Combustion

La combustion est la voie la plus rapide de valorisation énergétique de biomasse solide. En présence d'un excès d'oxygène, la biomasse est complètement décomposée en gaz qui s'enflamme en dégageant une forte quantité de chaleur.

Principes généraux

La combustion de biomasse est une réaction d'oxydation. L'oxygène présent dans l'air (O₂) se combine avec le carbone et l'hydrogène contenu dans le bois pour former du CO₂, de l'H₂O (eau) tout en dégageant beaucoup d'énergie sous forme de chaleur. L'équation globale de combustion peut s'écrire sous la forme :



On remarque avec cette équation que la combustion d'un bois ne contenant aucune molécule d'eau provoque quand même l'émission de vapeur.

Le processus de combustion se déroule en plusieurs étapes.

• Séchage du bois

Grâce à la chaleur du foyer, l'eau encore contenue dans la biomasse s'évapore.

• Pyrolyse

Sous l'action de la chaleur, les constituants de la biomasse se décomposent en gaz et en fines gouttelettes de goudrons qui se vaporisent. La majorité de ces composés gazeux sont combustibles. La décomposition laisse un résidu carboné.

• Combustion des gaz

Dès qu'ils s'échappent de la pièce de bois, les gaz de décomposition se combinent à l'oxygène et brûlent (flamme).

• Combustion du résidu carboné

Lorsque les gaz se sont dégagés, le résidu carboné brûle (incandescence des braises).

En réalité, ces quatre étapes se chevauchent : les différents constituants du bois se décomposent alors que toute l'eau ne s'est pas évaporée, le résidu carboné brûle avant que tous les composés gazeux soient libérés.

Pour permettre une bonne décomposition du combustible et donc une combustion de qualité, il est nécessaire que la température au sein du foyer atteigne au moins 800°C.

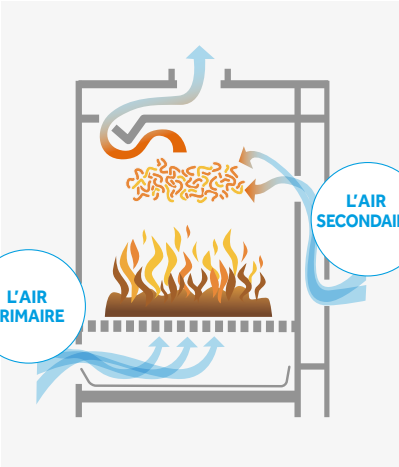
Principaux paramètres influençant la combustion

L'air

La combustion de biomasse est une réaction d'oxydation. L'oxygène présent dans l'air (O₂) se combine avec le carbone et l'hydrogène.

Contrairement aux autres voies de valorisation énergétique du bois, la combustion se déroule en présence d'air en excès, afin d'assurer la combustion complète de toutes les molécules de combustible. L'air est nécessaire à deux niveaux :

- L'air primaire : pour brûler le résidu carboné et les gaz au niveau du lit ;
- L'air secondaire : pour brûler les gaz combustibles au-dessus du lit.



La régulation de la quantité d'air injectée dans le foyer est importante car elle affecte grandement la qualité de la combustion. Si l'arrivée d'air est insuffisante, la combustion des gaz sera incomplète.

Une combustion incomplète (manque d'oxygène) s'accompagne d'une production d'imbrûlés (suies) qui encrassent la cheminée et d'éléments partiellement oxydés tels que le gaz CO. À l'inverse, un apport d'air excessif augmente quant à lui les pertes par la cheminée et diminue la température au sein du foyer, ce qui abaisse le rendement de l'installation.

Dans les appareils récents, l'air est préchauffé en le faisant circuler autour de la carcasse du foyer ou à proximité de l'évacuation des fumées. Les chaudières actuelles optimisent la combustion en favorisant les échanges prolongés entre gaz combustibles et oxygène via des chicanes et des turbulateurs. Cette technique permet aussi un meilleur transfert de chaleur dans l'échangeur.

L'humidité du combustible

Plus le bois que l'on introduit dans le foyer est humide, plus il faudra utiliser d'énergie pour évaporer cette eau. Il en résulte une baisse de la température du foyer et par conséquent, une moins bonne combustion induisant une perte de rendement et des émissions importantes de polluants atmosphériques (dont les particules fines).

De plus, la vapeur d'eau produite aug-

mente significativement le volume des gaz. Leur vitesse de passage s'en trouve ainsi augmentée et les gaz combustibles ont ainsi moins le temps de se combiner à l'oxygène de l'air et de brûler complètement.

La dimension et la nature du combustible

Étant donné que les mécanismes de la combustion de solides font appel à des réactions de gazéification, la forme (granulométrie) du combustible aura une influence sur la vitesse de combustion. Plus le bois sera débité en fragments fins, plus sa combustion sera rapide. Cela s'explique par le fait que plus la surface disponible pour une même quantité de combustible⁷ sera importante, plus les gaz de décomposition se dégageront facilement, et la combustion se déroulera donc plus rapidement. C'est pourquoi un kilogramme de brindilles brûle plus vite qu'une bûche d'un kilogramme du même combustible. On remarquera par contre qu'au final, la même quantité de chaleur aura été dégagée.

Cependant, lorsque la granulométrie du combustible est trop fine, comme dans le cas de la sciure, la circulation d'air ne peut pas se faire correctement et la combustion se déroule avec difficulté si le combustible n'est pas pulvérisé à l'aide de brûleurs spécifiques.

La densité (et donc la nature) d'un combustible aura elle aussi une influence sur la vitesse de combustion : plus le bois est léger, plus il est poreux et plus les gaz entrent rapi-

dement en contact avec l'oxygène pour se consumer. C'est la raison pour laquelle les résineux ont tendance à brûler plus rapidement que les feuillus.

Le choix de la nature du combustible peut donc avoir une importance, notamment lorsque l'on cherche à produire rapidement une forte quantité de chaleur, ou lorsqu'au contraire on recherche une diffusion lente et continue de chaleur.

Technologies de combustion pour la production de chaleur

L'utilisation du feu est l'une des premières grandes révolutions technologiques que l'Humanité ait connues. D'abord exploitée pour le chauffage et la cuisson des aliments, la combustion de biomasse et de bois en particulier a ensuite été largement employée pour alimenter en chaleur des procédés industriels.

Alors qu'elle se déroulait traditionnellement dans des foyers ouverts, la combustion à des fins domestiques a été au fil des siècles de mieux en mieux contrôlée au sein de foyers clos, jusqu'à une gestion complètement automatisée aujourd'hui.

À l'heure actuelle, la combustion de biomasse est exploitée soit directement par flux d'air chaud, soit par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, vapeur, huile thermique), porté à température dans une chaudière. Ces deux voies sont largement utilisées dans les gammes de puissances faibles par les particuliers ou, pour des puissances plus élevées, dans l'industrie.

Petites puissances Chauffage domestique

Les systèmes de chauffage domestiques se divisent en deux grands groupes :

- les systèmes centralisés qui chauffent l'ensemble d'une habitation y compris parfois l'eau chaude sanitaire ;
- les appareils d'appoint qui ne chauffent qu'une partie de l'habitation.

La première catégorie reprend donc les chaudières tandis que la deuxième reprend majoritairement les poêles et inserts. Des systèmes hybrides existent cependant.

La gamme des puissances pour le chauffage domestique va de 3 à 100 kW (pour des ménages classiques).

Appareils d'appoint (poêles)

Les appareils d'appoint chauffent uniquement l'environnement direct, c'est-à-dire la pièce où ils se trouvent. Certains systèmes de pulsion d'air permettent cependant de transmettre la chaleur aux pièces voisines.

Les foyers ouverts (cheminées)

Les foyers ouverts sont les systèmes les plus rudimentaires de chauffage au bois. La combustion s'y déroule sans aucun contrôle de l'arrivée d'air. De plus, une grande partie de la chaleur produite n'est pas valorisée et s'échappe par la cheminée. Ce moyen de chauffage est celui qui présente le moins bon rendement (10 %, 20 % avec des récupérateurs de chaleur) et les émissions polluantes les plus importantes. Il est donc à n'utiliser que pour l'agrément et en aucun cas pour le chauffage.

Les inserts (encastrables)

Selon que l'appareil soit encastré dans une cheminée pré-existante ou, au contraire, habillé par une maçonnerie imitant une cheminée, on parle respectivement d'inserts ou de foyers fermés. Ces appareils améliorent le principe des feux ouverts en confinant la combustion dans un foyer en fonte ou en acier. La chaleur est propagée par rayonnement par la vitre et par convection (naturelle ou forcée) entre le foyer et la carrosserie de l'appareil. Selon le type d'appareil, le rendement peut aller de 30 à 80 %.

7. La surface spécifique correspond au rapport entre la surface totale et la masse d'une matière. Plus cette matière possède une granulométrie fine, plus ce rapport est important.

Les poêles à bûches

Ces poêles sont constitués d'un foyer fermé en acier ou en fonte, non-inséré dans la maçonnerie de la cheminée, en restant connectés au conduit d'évacuation des fumées. Comme dans les encastrables, la combustion reste visible à travers une vitre. Les poêles sont utilisés avec du bois sous forme de bûches ou, éventuellement, avec des bûchettes de bois densifié. Ces appareils constituent un excellent compromis entre des rendements devenus aujourd'hui très bons et la convivialité du chauffage au bois. Les modèles traditionnels ont un rendement assez élevé à régime normal mais plus faible au ralenti (40 à 60 %). Les plus récents, équipés d'un circuit de convection, peuvent atteindre des rendements de 60 à 80 %. Leur autonomie est de quelques heures et leur inertie thermique est relativement limitée (il existe toutefois des poêles qui, sans être des poêles à accumulation, peuvent être équipés d'une masse d'accumulation qui leur permet d'augmenter leur inertie thermique).

Les poêles à pellets

Ces appareils sont les plus performants : 90 % de rendement voire plus, et un fonctionnement automatisé qui permet d'optimiser la combustion. Ils présentent un confort d'utilisation se rapprochant des appareils fonctionnant au gaz ou au mazout. En effet, ils ont la particularité d'être pourvus d'un réservoir qui alimente la combustion en pellets via un mécanisme de vis sans fin. Leur autonomie peut ainsi atteindre plusieurs heures à quelques jours en fonction de la demande de chaleur et de la taille du réservoir. L'aspect « feu de bûches » est cependant perdu, mais la plupart des poêles permettent d'avoir une flamme visible.

Les poêles à accumulation

Ces poêles, aussi appelés poêles de masse en raison de leur poids considérable, fonctionnent sur le principe de l'accumulation de chaleur à travers les matériaux réfractaires qu'ils composent (stéatite naturelle ou composite). Les fumées chaudes circulent dans une série de conduits permettant de céder un maximum de la chaleur au matériau. Celle-ci est restituée par la suite par rayonnement dans le milieu ambiant jusqu'à 24h après l'extinction du foyer. Ils peuvent par ailleurs être raccordés à un circuit d'eau chaude pour un système de radiateur ou d'eau chaude sanitaire. Ceux-ci fonctionnent généralement avec des bûches. Avec des rendements de 80 à 93 %, des émissions faibles et une autonomie non-négligeable, ces systèmes sont parmi les plus performants, mais leur encombrement et leur inertie est une contrainte.

Les poêles-chaudières

Ces « hybrides » sont beaucoup moins fréquents que les poêles classiques. Ils permettent non seulement de chauffer la pièce dans laquelle ils se trouvent, mais aussi d'alimenter en eau chaude un petit réseau de radiateurs. Ils constituent en quelque sorte un système intermédiaire entre les appareils destinés à ne chauffer qu'une seule pièce et les systèmes de chauffage central. Leur rendement peut varier de 70 à 90 %.

Les poêles polycombustibles (pour agrocombustibles)

L'utilisation d'agrocombustibles est possible en poêle à alimentation automatique ou sous forme de bûches com-

pressées dans des poêles à bûches. La technologie ne diffère pas des poêles à bois. Cependant étant donné la composition de certains agrocombustibles (ils génèrent des fumées plus corrosives), des matériaux plus résistants tels que la céramique ou la fonte sont à privilégier dans les foyers pour éviter l'accélération de l'usure du matériel. Bien régler le poêle et utiliser du combustible sec permettra de réduire les phénomènes de corrosion et de formation de mâchefer. Attention, avant d'utiliser un agrocombustible dans un appareil de chauffage, il faut se renseigner auprès du constructeur pour s'assurer que ce combustible fasse partie des combustibles référencés pour l'appareil. Sinon, en cas de problèmes, le constructeur peut annuler la garantie.

Appareils de chauffage central (chaudières)

Les appareils de chauffage central permettent de chauffer l'entièreté d'un bâtiment via un réseau d'eau chaude circulant dans des radiateurs. Ce système permet aussi de chauffer l'eau chaude sanitaire.

Les chaudières à bûches

Malgré les nombreuses manipulations à réaliser, l'utilisation de bûches dans une chaudière reste un des moyens les moins chers pour se chauffer au bois. Au niveau de l'autonomie, il faut habituellement charger la chaudière au moins une fois par jour. Le couplage à un ballon tampon (ou ballon hydro-accumulateur) qui stocke la chaleur excédentaire et la restitue sur 12 à 24 heures permet de faire fonctionner la chaudière à puissance nominale. Le fonctionnement à pleine puissance augmente la longévité, améliore le rendement (50 à 90 %, voire plus), réduit les émissions de polluants atmosphériques et permet

une autonomie de plusieurs jours en intersaison grâce au ballon.

Les chaudières à bûches présentent plusieurs variantes technologiques.

Le tirage caractérise les chaudières à bois par leur mode de combustion et la manière dont l'air est admis dans le foyer. Il peut être naturel ou forcé à l'aide d'un ventilateur de type turbine (d'un « turbo »).

Le tirage naturel est mis en œuvre dans les chaudières à bûches selon trois techniques (la 4^{ème} étant une amélioration de la 3^{ème}):

- **les chaudières à combustion montante** : elles sont simples mais de qualité médiocre. Le combustible est empilé sur la grille du foyer. Toute la charge s'enflamme simultanément. La combustion est difficile à maîtriser et, en général, de médiocre qualité et incomplète. Les fumées peuvent être très chaudes ;
- **les chaudières à combustion horizontale** : elles réduisent le taux d'imbrûlés. Les phases de combustion et de séchage sont dissociées et la combustion a lieu en couches minces. Les arrivées d'air primaire et secondaire sont mieux contrôlées, donc la combustion est améliorée et le taux d'imbrûlés diminue ;
- **les chaudières à combustion inversée** : Elles offrent une bonne qualité de combustion. Les flammes se développent au travers de la grille, support du combustible. Les entrées d'air primaire et secondaire sont distinctes, ce qui améliore encore la qualité de la combustion ;
- **les chaudières « turbo »** : elles perfectionnent les chaudières à combustion

inversée. Elles sont équipées d'une turbine qui introduit l'air de combustion ou d'un extracteur qui aspire les fumées. Elles offrent un meilleur rendement. Cependant la durée de vie du corps de chauffe peut être limitée par une corrosion accélérée. La puissance minimale de ces chaudières (20 kW) les rend inadaptées dans certaines situations où elles seraient surdimensionnées.

Les chaudières à pellets et à plaquettes

De manière entièrement automatisée, le combustible (plaquettes ou pellets), stocké dans un réservoir (cave, grange, silo, etc.), est acheminé via un système de vis sans fin vers la chambre de combustion de la chaudière. Pour les pellets, un système d'extraction pneumatique du silo est également possible.

Les alimentations en air et en combustible sont gérées avec finesse grâce à un automate programmable et de multiples sondes, ce qui assure une combustion de très bonne qualité. Le rendement varie à plus de 90 % (voire plus de 100 % sur PCI dans le cas des chaudières à condensation). Ce sont des systèmes entièrement automatiques. Leur confort d'utilisation est quasi identique aux chauffages centraux au mazout ou au gaz. Certaines chaudières sont même capables d'utiliser des pellets et des plaquettes (mais pas en simultané).

Les chaudières polycombustibles (pour agrocombustibles)

Actuellement, on assiste à une harmonisation des gammes de chaudières, avec des chaudières à bois déchiqueté qui acceptent des combustibles agri-

coles moyennant une légère adaptation (installation d'un recyclage des fumées). La technologie diffère peu des technologies adaptées au bois, toutefois ces chaudières disposent de pièces plus robustes au niveau du foyer pour résister à la corrosion, ainsi qu'au niveau des éléments permettant l'évacuation des cendres pour faire face à la présence d'éventuels mâchefers. Elles doivent aussi faire l'objet de réglages spécifiques au niveau de la gestion de l'air de combustion.

L'utilisation d'agrocombustibles tels que le miscanthus par exemple implique généralement une perte de puissance comprise entre 15 et 30 %. Cette perte de puissance peut être expliquée par deux facteurs :

- l'abaissement volontaire de la température du foyer à 650°C pour éviter le risque de fusion des cendres, par un apport d'air plus important (éventuellement par recyclage des fumées) ;
- la faible densité par rapport au bois, ce qui veut dire que la taille du foyer est limitante.

Les nouvelles technologies permettent de mieux gérer les émissions de polluants atmosphériques comme les fines particules mais pour cet aspect, il faut noter qu'il est presque toujours mieux d'utiliser un système centralisé plutôt que plusieurs systèmes d'appoint.

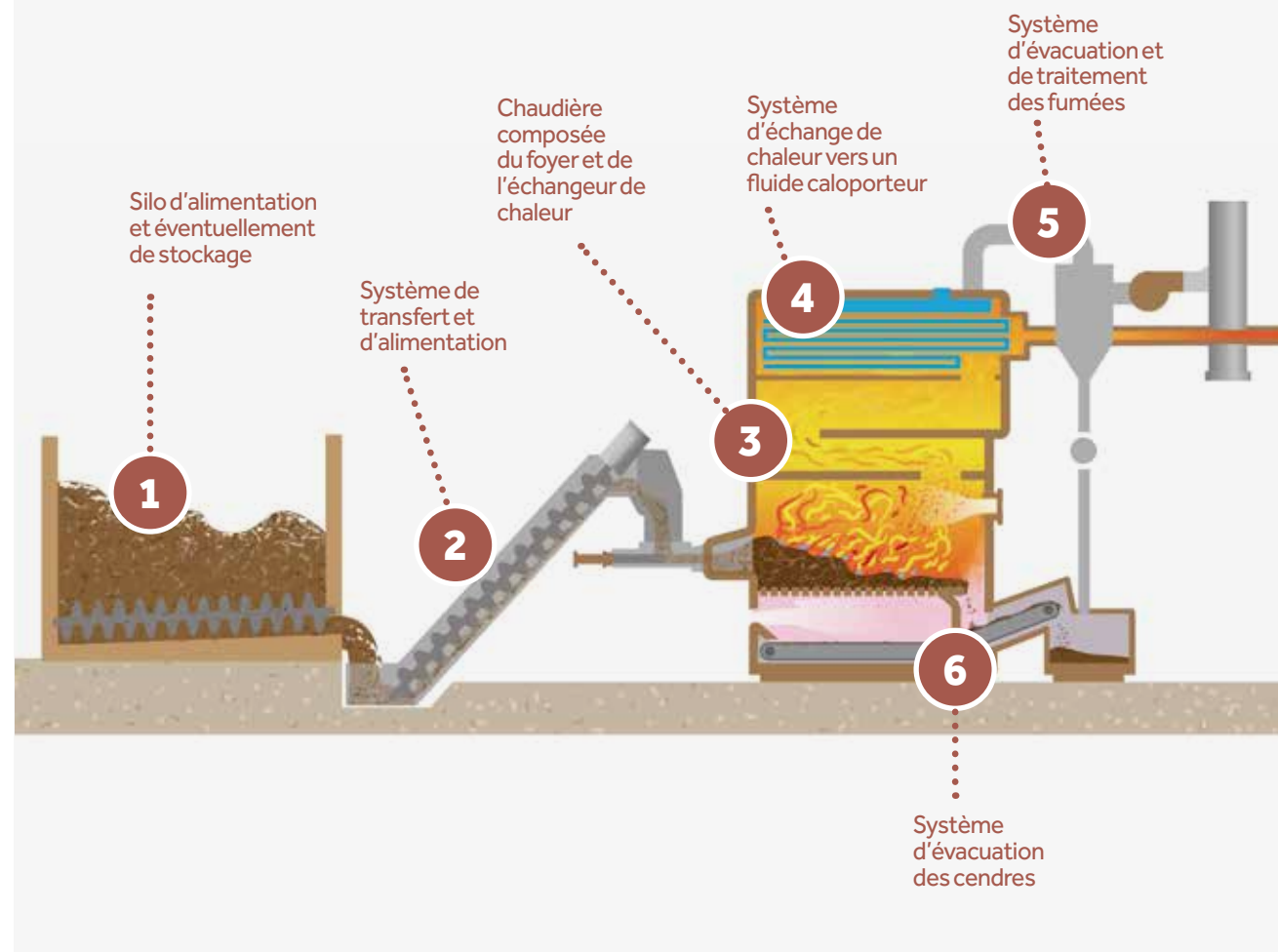
Grandes puissances

Entreprises et secteur tertiaire

En augmentant les dimensions du foyer, les chaudières peuvent fournir des puissances énergétiques jusqu'à plusieurs dizaines de MégaWatts.

Les chaudières au bois procurent de la chaleur pour le chauffage de bâtiments ou pour assurer un processus industriel (séchage de bois, agro-alimentaire, etc.).

Quelle que soit l'utilisation finale de la chaleur produite, les chaufferies présentent toutes le même schéma général.



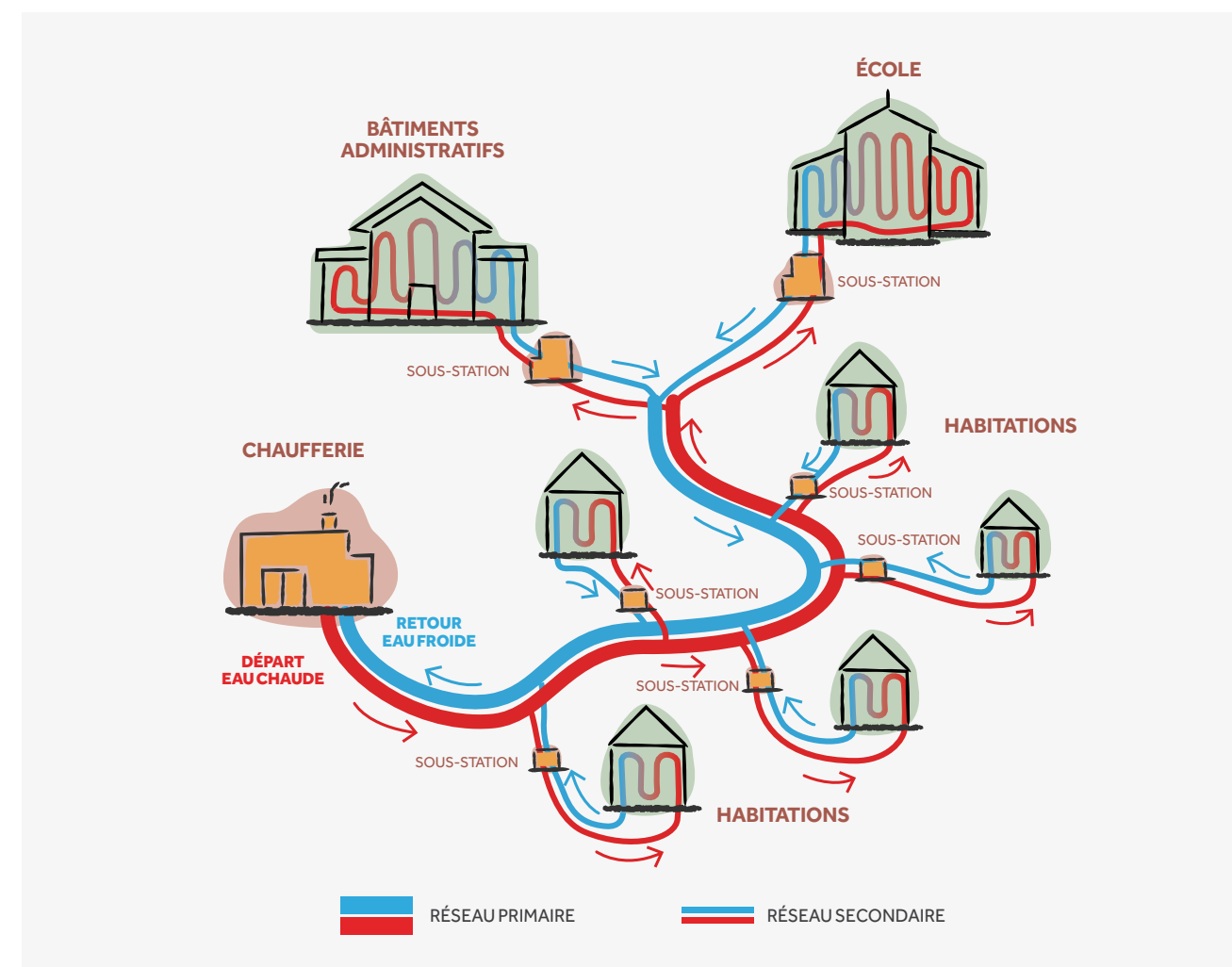
Chaudières collectives et réseaux de chaleur

Avec une chaudière de grande puissance, il est possible de chauffer plusieurs bâtiments en les raccordant à un réseau de distribution de chaleur dans lequel circule un fluide caloporteur (eau glycolée). Ce fluide caloporteur est facilement transportable jusqu'à des distances de quelques kilomètres, avec des pertes minimales d'énergie (de l'ordre de $1^{\circ}\text{C}/\text{km}$).

Les réseaux de chaleur sont constitués de canalisations en acier ou en polyéthylène entouré d'une gaine isolante en laine de roche ou en mousse de polyuréthane selon les caractéristiques du fluide transporté. Le plus souvent enterrés, les réseaux de chaleur sont composés d'un réseau primaire lié à la chaudière et d'autant de réseaux secondaires qu'il y a d'utilisateurs finaux de la chaleur. La chaleur du réseau est transmise à l'utilisateur final via un échangeur de chaleur situé

dans une sous-station, ce qui permet de séparer le réseau principal des réseaux secondaires.

L'avantage d'un réseau performant est de centraliser la gestion de la chaufferie, ce qui permet des gains d'efficience et de confort pour les utilisateurs qui n'ont plus à se soucier que de leur compteur de chaleur. De plus, la gestion des fumées et des cendres est aussi plus efficace.



Technologies pour la production d’électricité

Il existe deux grands types de production d’électricité à partir de biomasse solide : l’un à partir de **vapeur produite grâce à la chaleur d’une chaudière**, l’autre à partir de **gaz issus de la gazéification**.

Bien souvent, une partie de la chaleur utilisée pour la production d’électricité peut être récupérée. Dans ce cas, on parlera de production combinée d’électricité et de chaleur, appelée cogénération. L’avantage de la cogénération est qu’elle offre un meilleur rendement total pour une même puissance délivrée en chaleur et en électricité que si ces productions avaient été séparées. Il faudra donc moins de combustible pour produire la même quantité finale d’énergie.

Il faut néanmoins remarquer que la récupération de la chaleur, si elle augmente le rendement global, aura pour effet de diminuer le rendement électrique net.

Technologies combustion-vaporisation

La vapeur sous pression produite par une chaudière biomasse est capable de générer une force motrice. Couplée à un alternateur, cette force fournit une puissance électrique, à la manière d’une dynamo. A l’heure actuelle, deux technologies s’imposent pour transformer l’énergie que renferme la vapeur sous pression en force motrice : les turbines-vapeur (aubages) et les moteurs à vapeur (pistons).

Cycles turbine-vapeur

Les turbines-vapeur sont particulièrement adaptées à la génération d’électricité au-dessus de 3 MW. Elles sont constituées d’aubages mobiles, solidaires d’un arbre central, et d’aubages fixes. La vapeur à haute pression (plusieurs dizaines de bar) se détend sur les aubages mobiles, communiquant l’énergie mécanique à l’arbre et entraînant sa mise en mouvement. Au sein de l’alternateur, la rotation de l’arbre génère de l’électricité.

Outre la vapeur d’eau, il est aussi possible d’utiliser des chaudières à huile minérale, qui sont couplées à un module ORC (Organic Rankine Cycle) qui permet de vaporiser un fluide organique qui sera ensuite utilisé dans une turbine.

Parmi les turbines, on distingue les turbines à condensation avec ou sans soutirage pour la récupération de chaleur et les turbines à contre-pression, qui permettent une récupération plus importante de chaleur et sont donc surtout exploitées en cogénération.

Moteurs à vapeur

Pour des puissances électriques de l’ordre de la centaine de kW, le moteur à vapeur connaît un regain d’intérêt. Il fonctionne selon le même principe que les anciennes locomotives où la force de la vapeur sous pression entraîne un ou plusieurs pistons en mouvement. Une installation de cogénération à moteur à vapeur suit le même schéma général que celle à turbine-vapeur.

Moteurs Stirling

C’est un moteur qui utilise la détente d’un gaz entre une zone à haute et à basse température. La zone chaude est chauffée par une source externe (dans notre cas, une chaudière biomasse), d’où l’appellation « moteur à combustion externe ». Les phases de détente et compression du gaz permettent la mise en mouvement de pistons qui, couplés à un alternateur permettront de générer de l’électricité. Le refroidissement de la zone froide permet aussi de récupérer de la chaleur.

Technologies à gazéification

Cette technologie utilise le principe de la gazéification du bois. A la sortie du réacteur à gazéification, les gaz sont refroidis et lavés pour éliminer l’eau, les cendres et les restes de goudrons du mélange avant d’être utilisés dans un moteur à gaz à combustion interne (même principe que le moteur à explosion des voitures). Ce moteur permet de transférer une force motrice à un alternateur, qui produira de l’électricité. L’eau servant au refroidissement du bloc moteur peut être récupérée pour divers besoins en chaleur (chauffage, séchage, procédé agro-alimentaire, etc.).

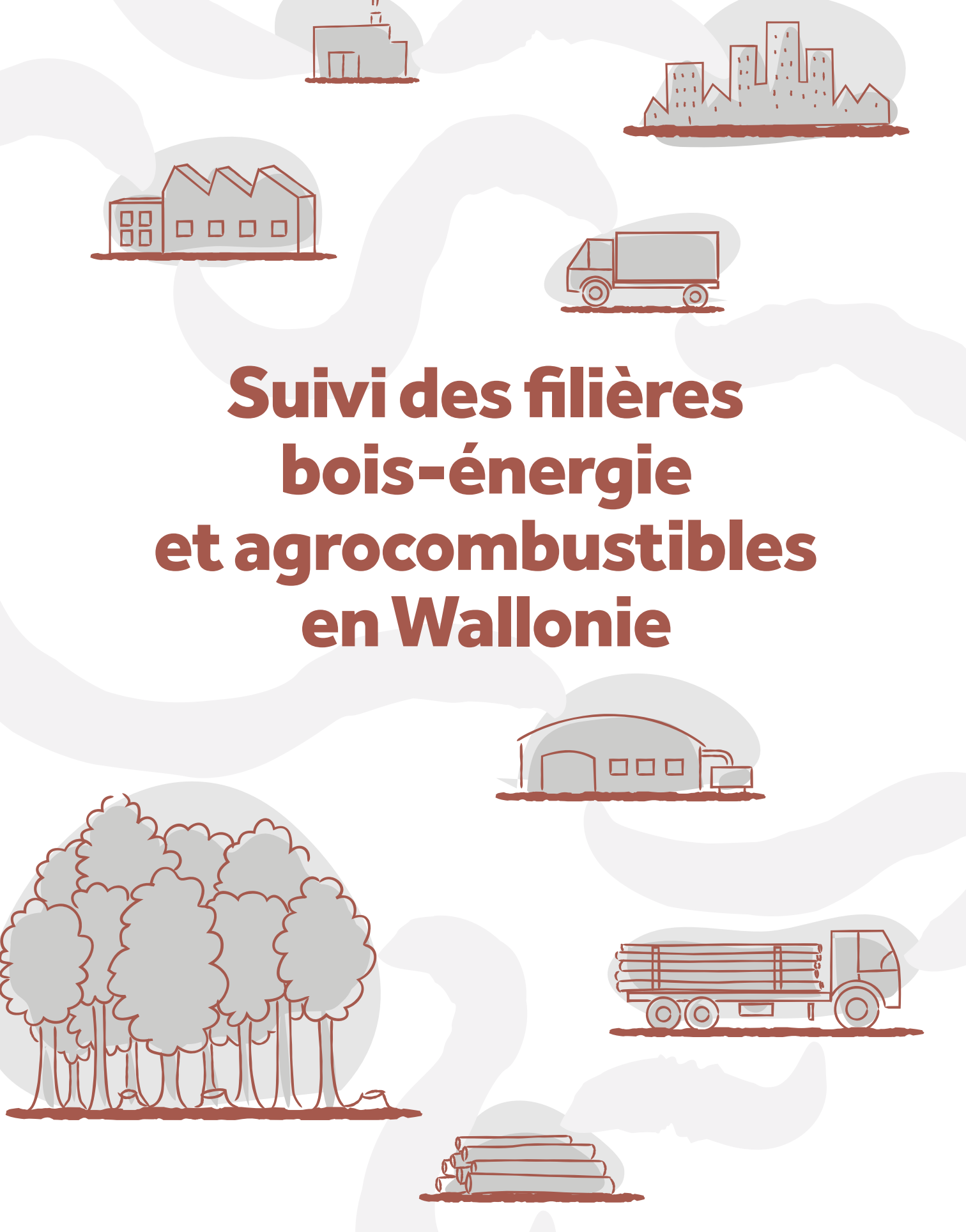
Lorsqu’elles fonctionnent de manière optimale, les centrales de cogénération par gazéification à co-courant ont un rendement énergétique de l’ordre de 80 %, avec une production d’énergie thermique deux fois plus importante que la production d’électricité.

Et la trigénération ?

La trigénération est un cas particulier de cogénération où une partie de la chaleur récupérée va servir à produire du froid : on a donc une production simultanée d’électricité, de chaleur et de froid. Elle est généralement utilisée dans les cas où toute la chaleur issue d’une cogénération ne pourrait pas être valorisée et où, de surcroît, il y a une demande pour du froid (réfrigérateurs, congélateurs, climatisations, ...). Une installation biomasse wallonne utilise déjà la trigénération pour valoriser pleinement sa chaleur.

Récapitulatif des technologies et de leurs rendements électrique et thermique ainsi que de leur état de développement en 2018

	Rdt élec	Rdt therm	
PRODUCTION ÉLECTRIQUE PURE			
Centrale électrique bois (pellets) à turbine vapeur (100-200 MW _{él})	30-35 %	0 %	Technologie mature et éprouvée
PRODUCTION EN COGÉNÉRATION			
Très petite cogénération bois, moteur STIRLING couplé à une chaudière domestique à bois (<1 kW _{él} + 10 kW _{th})	10-30%	90-95%	Technologie mature mais peu développée en Wallonie
Cogénération bois moteur STIRLING (50 kW _{él} + 300 kW _{th})	10 %	75%	Technologie inexistante en Wallonie et encore à l'état de développement
Cogénération bois gazéification et moteur à gaz pauvre (type 500 kW _{él})	25%	50 %	Actuellement, technologie en phase de déploiement. Une unité en fonctionnement en Wallonie
Cogénération bois gazéification et moteur à gaz pauvre (type <100 kW _{él})	24-30%	50-58%	Technologie mature, 2 unités en fonctionnement en Wallonie
Cogénération bois cycle ORC (type 600kW _{él})	20 %	60 %	Technologie mature mais pas encore développée en Wallonie, 1 projet à l'étude
Cogénération bois turbine vapeur (type 3 MW _{él} + 10 MW _{th})	15-25%	50-70%	Technologie mature et éprouvée, rendement assez variable d'un projet à l'autre (la maximisation d'un des rendements se fait au détriment de l'autre)
Cogénération bois turbine vapeur (type 5 MW _{él} + 100-200 MW _{th})	22%	50 %	Technologie mature et éprouvée, rendement assez variable d'un projet à l'autre (la maximisation d'un des rendements se fait au détriment de l'autre)
PRODUCTION THERMIQUE PURE			
Foyer ouvert (chauffage domestique 3-20 kW - appoint)	0 %	10-15%	
Foyer fermé et insert anciens (chauffage domestique 3-20 kW - appoint)	0 %	10-15%	
Foyer fermé et insert modernes (chauffage domestique 3-20 kW - appoint)	0 %	50-80 %	Technologie préférable lorsqu'elle présente un rendement élevé
Poêles à bûches anciens (chauffage domestique 3-20 kW - appoint)	0 %	30-40 %	
Poêles à bûches modernes (chauffage domestique 3-20 kW- appoint)	0 %	60-80 %	Technologie préférable vu les rendements
Poêles à pellets modernes (chauffage domestique 3-20 kW- appoint)	0 %	85-90 %	Technologie préférable vu les rendements
Poêles à accumulation, poêles de masse (chauffage domestique 3-20 kW - appoint)	0 %	85-90 %	Technologie préférable vu les rendements
Chaudière à bûche ancienne (chauffage domestique 20-150 kW - centralisé)	0 %	40 %	
Chaudière à bûches moderne (chauffage domestique 20-40 kW - centralisé)	0 %	75-95%	Technologie préférable vu les rendements
Chaudière à bûches moderne (chauffage industriel 40- 150 kW - centralisé)	0 %	75-85%	Technologie préférable vu les rendements
Chaudière à plaquettes moderne (chauffage domestique et industriel 20-300 kW - centralisé)	0 %	75-95 %	Technologie préférable vu les rendements
Chaudière à pellets moderne (chauffage domestique 5-40 kW - centralisé)	0 %	90-97%	Technologie préférable vu les rendements
Chaudière à pellets moderne (chauffage industriel 30-300 kW - centralisé)	0 %	85-95%	Technologie préférable vu les rendements
Chaudière à plaquettes grille fixe (chauffage industriel 500-5.000 kW)	0 %	75-85%	Technologie préférable vu les rendements
Chaudière à biomasse-bois grille mobile (chauffage industriel 500-50.000 kW)	0 %	70-95%	Technologie préférable vu les rendements
Chaudière à biomasse-bois à lit fluidisé (chauffage industriel 20.000-600.000 kW)	0 %	80-95%	Technologie préférable vu les rendements



Suivi des filières bois-énergie et agrocombustibles en Wallonie

La production des agrocombustibles

Agrocombustibles ligneux

T(t)CR



Le taillis à courte rotation est une culture ligneuse pérenne entièrement mécanisée et implantée pour une vingtaine d'années. Deux modes de culture existent :

- la très courte rotation, avec une plantation réalisée à haute densité (10.000-20.000 boutures par hectare), généralement en double rang, des essences à croissance rapide (saule, peuplier) et des récoltes espacées de 2 à 4 ans ;
- la courte rotation, avec une plantation réalisée à une densité faible à moyenne (1.000-6.000 boutures par hectare), en mono rang, des essences plus variées (saule, peuplier, aulne, bouleau...) et des récoltes espacées de 5 à 10 ans.

La plantation a lieu en avril-mai, dès que les conditions météorologiques le permettent. Le choix de la variété sera réalisé par rapport au rendement de la variété, à sa capacité à produire de grandes tiges et à sa résistance au froid et à la rouille. Différentes variétés

peuvent être mélangées sur la parcelle pour réduire les risques de développements parasitaires.

La récolte se fera lors de la retombée de la sève (automne-hiver). Les TtCR peuvent être récoltés avec du matériel agricole adapté. TtCR et TCR peuvent aussi être coupés en tiges entières, qui seront soit entassées pour sécher, puis broyées ultérieurement, ou directement broyées (séchage en tas).



Un hectare de taillis à très courte rotation coûte de 2.000 à 3.500 € en année d'implantation. Les boutures représentant le coût principal d'implantation (1.400 €), la plantation à plus faible densité (courte rotation) devrait voir baisser le coût de plantation. Ceci doit être mis en rapport avec le prix de la plaquette de bois, de l'ordre de 100 €/t (25% d'humidité) actuellement.

Des rendements compris entre 7 et 15 tonnes de matière sèche par hectare et par an sont renseignés dans la littérature. Sur base de l'expérience acquise en Belgique (Wallonie et Flandre), la première rotation présente généralement des rendements infé-

rieurs, compris entre 3 et 8 tonnes mais la deuxième rotation voit les rendements augmenter entre 5 et 15 tonnes de matière sèche par hectare et par an.

Agrocombustibles ligno-cellulosiques

Miscanthus



Le miscanthus (*Miscanthus x giganteus*) est une graminée stérile cultivée depuis 1995 en Belgique. Plante pérenne implantée pour une vingtaine d'années, le miscanthus présente une productivité élevée en Wallonie : 15 tonnes de matière sèche par hectare et par an. Ne demandant pas de fertilisation ni de traitements phytosanitaires, le miscanthus permet de valoriser des parcelles à la productivité variable, mal découpées, éloignées du siège d'exploitation. Il permet aussi de réduire le lessivage de nitrates et l'érosion. Il est actuellement cultivé sur près de 200 hectares en Wallonie.

Il se multiplie exclusivement par voie végétative, en fractionnant des rhizomes âgés de 3-4 ans. La plantation se fait en avril-mai avec une planteuse

à pomme de terre (rhizomes) ou à poireau (plantules). Une préparation de sol classique est requise, il est important de bien maîtriser les mauvaises herbes (mécaniquement et/ou chimiquement) pour éviter toute compétition en années 1 et 2.

Le miscanthus produit une quantité faible de biomasse après la première année. Généralement, la matière est broyée pour former un mulch contre les mauvaises herbes. La production augmente progressivement en deuxième et troisième année pour atteindre un maximum au plus tard la quatrième année.

La récolte en sec se réalise à l'ensileuse à maïs fin mars, début avril, lorsque l'humidité est descendue en-dessous de 20%. On obtient un broyat de faible densité (110 kg/m³) dont le calibre dépendra des réglages de l'ensileuse. Une longueur moyenne des brins de 3 centimètres conviendra à la majorité des applications. Le stockage se fera préférentiellement sous abri.

Les rendements moyens mesurés en Wallonie sont de l'ordre de 15 tonnes de matière sèche à l'hectare en région limoneuse et sablo-limoneuse (variation entre 10 et 20 tonnes), et jusqu'à 10 tonnes de matière sèche à l'hectare en Ardenne.

Le coût de plantation dépend notamment du matériel végétal utilisé. Avec des rhizomes achetés à un fournisseur extérieur, il varie entre 3.000 et 4.000 €/ha. Le coût de plantation n'a pas encore été déterminé avec des rhizomes autoproduits. Les charges annuelles (investissement et exploitation) lissées sur 20 ans se montent à 681 €/ha. En comptant une productivité de 18 tonnes fraîches par hectare

et un prix de vente de 100 €/t, l'agriculteur dégage une marge brute de 1.119 € par hectare.



Switchgrass



Le panic érigé (*Panicum virgatum* L.), appelé switchgrass en anglais, est une graminée originaire d'Amérique du Nord encore très peu représentée en Belgique. Il s'agit d'une culture pérenne très productive (10 à 20 t_{MS}/ha/an). Le panic érigé ne demande pas de fertilisation ni traitements phytosanitaires et permet de valoriser des parcelles à la productivité variable, mal découpées ou éloignées du siège d'exploitation. Quelques parcelles sont en place en Wallonie.

Le panic érigé est implanté pour une durée minimale de 10 ans. Un avantage est que son implantation se fait par semis, ce qui permet de baisser les coûts par rapport à une plantation.

Ce semis se réalise en mai, dès que la température du sol dépasse 15°C. À l'instar du miscanthus, le panic érigé demande une préparation fine du sol.

La récolte est similaire à celle du miscanthus. Elle peut se réaliser en vert (automne) ou en sec (à la fin de l'hiver). La machine habituellement utilisée est une ensileuse à maïs.

La récolte en sec est effectuée lorsque l'humidité est descendue en-dessous de 20%. On obtient un broyat de faible masse volumique (110 kg/m³) dont le calibre dépendra des réglages de l'ensileuse. Une longueur moyenne des brins de 3 centimètres conviendra à la majorité des applications.

Les rendements n'ont pas encore été mesurés systématiquement en Wallonie. En France, le réseau LIGNOGUIDE a mesuré des rendements annuels médians de l'ordre de 10 tonnes de matière sèche à l'hectare.

Anas de lin

Le lin textile est une culture annuelle bien développée en Wallonie, avec plus de 11.000 hectares déclarés en 2017.

Les anas de lin sont un coproduit du teillage du lin textile. Un hectare de lin produit environ 7 tonnes de paille. Cette dernière présente une humidité adaptée à la combustion (entre 10 et 20%), un excellent PCI (16 MJ/kg, soit 4,4 kWh/kg) et un taux de cendres raisonnable (entre 2 et 4%).

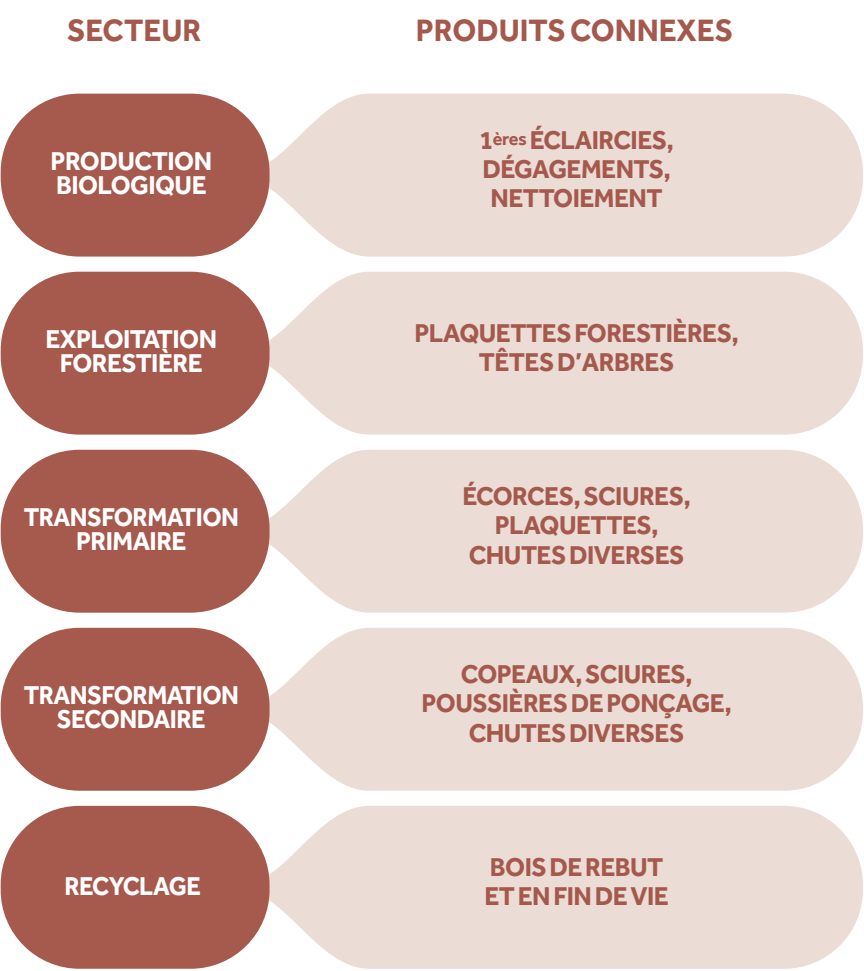
Le bois-énergie au sein de la filière bois wallonne

Le bois peut suivre deux grandes voies de valorisation en fonction de ses caractéristiques : soit en tant que matériau (construction, emballage, papier, ...), soit en énergie.

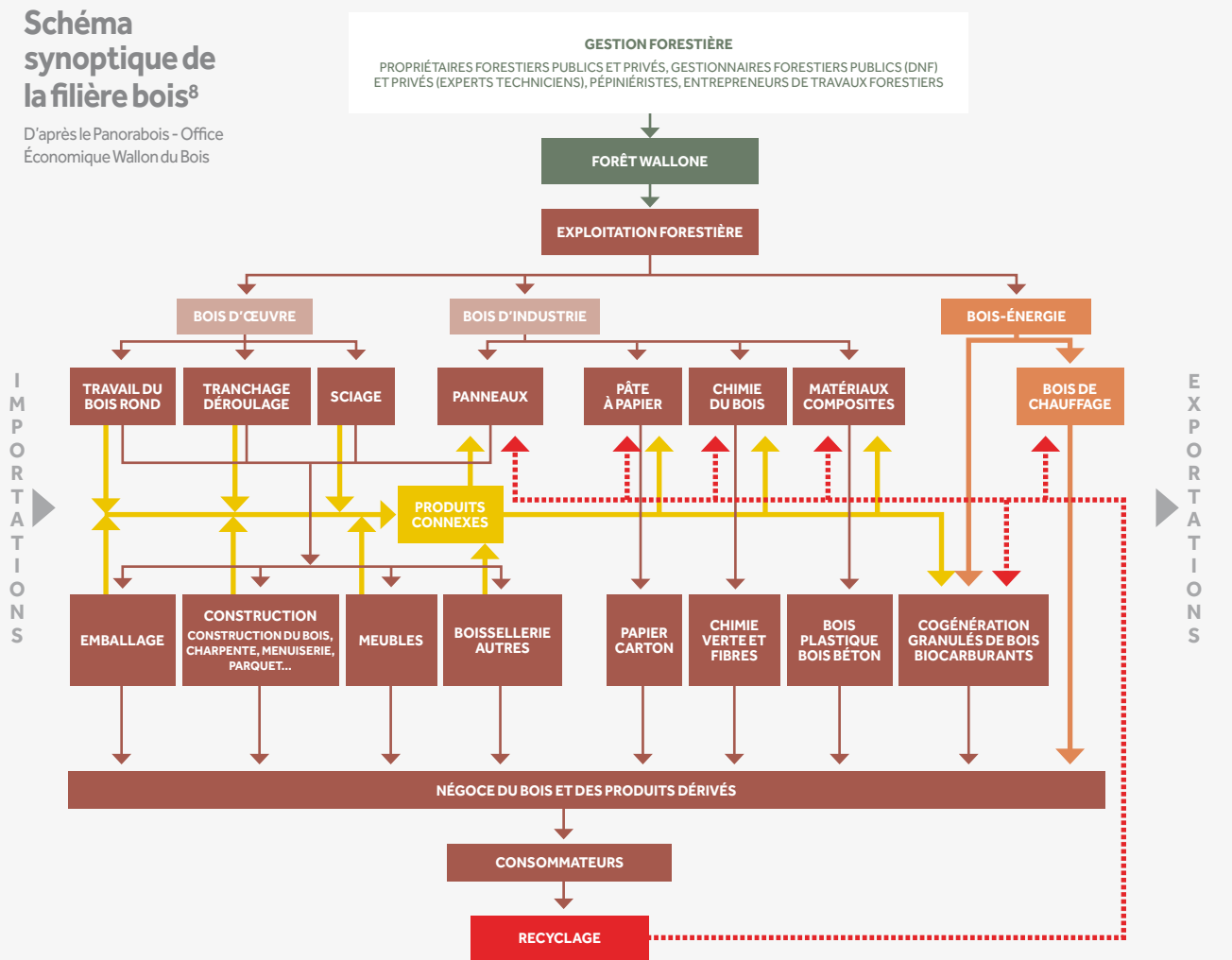
Les flux de bois destinés à une valorisation énergétique ne représentent donc qu'une partie d'une filière beaucoup plus vaste et complexe, impliquant diverses chaînes de valorisation dans lesquelles la valorisation énergétique intervient en parallèle ou en fin de chaîne de valorisation.

La filière bois et ses produits connexes

La filière bois, dans son ensemble, est relativement complexe. Elle peut être divisée en différents secteurs qui génèrent chacun une quantité de produits « connexes » (coproduits).



Les coproduits sont générés de manière inévitable lors du processus de fabrication d'un produit principal, comme par exemple la sciure qui est le coproduit du processus de fabrication de planches. Ces produits connexes constituent donc un flux parallèle à la production du matériau bois. Certains de ces produits connexes peuvent être valorisés dans les filières de trituration (fabrication de panneaux et de pulpe), ou être utilisés pour la production d'énergie.



8. Ce schéma de portée générale est basé sur les flux de matières.

Flux de bois-énergie

On peut identifier trois sources principales de bois-énergie :

- le bois issu de l'exploitation forestière directement destiné à une valorisation énergétique ;
- les produits connexes de la transformation primaire et secondaire du bois ;
- le bois issu de la récupération de bois en fin de vie.

Bois issu de l'exploitation forestière

Certains lots de bois peuvent être directement destinés à la production de bois-énergie. C'est le cas notamment des taillis en forêt feuillue, dont la vocation première était historiquement de produire du bois de feu pour le chauffage et l'industrie. Les surfaces en taillis tendent cependant à diminuer, laissant la place au taillis sous futaie ou à la futaie.

Les têtes d'arbres et les branches (houppiers), ainsi que les purges et souches laissées après l'exploitation des grumes (troncs destinés au sciage) peuvent aussi fournir une source de bois-énergie. De manière plus générale, nous parlons pour ces flux de bois de « rémanents d'exploitation ». Il convient de remarquer que ces rémanents ne sont pas toujours exploités et qu'il faut veiller à ne pas en exporter une trop grande part afin de ne pas dégrader l'écosystème ni appauvrir la productivité de nos forêts.

Il faut aussi noter que les premières éclaircies, nécessaires à la production de bois d'œuvre de qualité et parfois difficiles à valoriser dans la filière « matière » de par la taille des lots ou la qualité du bois, peuvent trouver une valorisation en bois-énergie.

Enfin, à ces sources issues de la filière forestière, il convient d'ajouter d'autres sources potentielles de combustibles ligneux. L'entretien des parcs et jardins, des bords de routes, des haies agricoles, des abords de rivières ou des bordures de voies de chemin de fer génère une quantité non négligeable de tiges et branchages divers, potentiellement valorisables en bois-énergie. Dans ces opérations, les tiges sont généralement broyées et laissées sur place faute de quantité suffisante pour intéresser l'industrie ou suite au manque d'accessibilité des chantiers, bien qu'ils commencent de plus en plus à intéresser le secteur énergétique. Le gros avantage de cette ressource est d'être totalement déconnectée des marchés industriels (panneautiers, papetiers, chaudières grosses puissances) car elle n'est récoltable que très localement et à petite échelle.

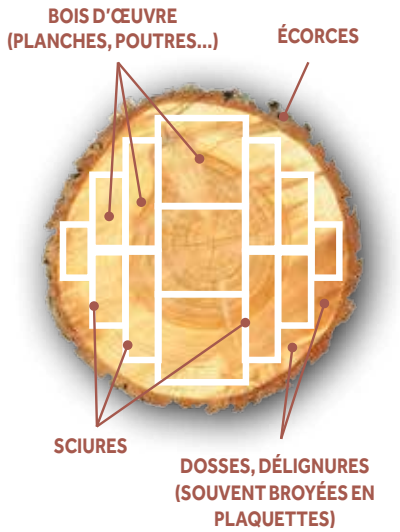
Produits connexes des entreprises de transformation primaire et secondaire

Les entreprises de la **transformation primaire** du bois génèrent une quantité importante de produits connexes.

Le rendement de sciage de la transformation des grumes est généralement compris entre 45 et 60 % du volume, ce qui laisse une grande part de coproduits.

Ces produits connexes se composent principalement de :

- dosses, délignures, chutes de sciage, plaquettes (chips), rebut ;
- sciures humides ;
- écorces.



La grande majorité des produits connexes de la transformation primaire sont valorisés soit sous forme matière, soit pour la production d'énergie ; les proportions variant en fonction de l'évolution des marchés (notamment pour les pellets).

Il faut toutefois constater que de nombreuses petites et moyennes entreprises (scieries, menuiseries, ...) ne disposent pas d'une production de connexes suffisante en quantité et en qualité pour pouvoir négocier des contrats avec ces industries. Elles peuvent alors trouver des voies de valorisation en interne pour la production d'énergie : chauffage des locaux, alimentation de séchoirs à bois, ou production d'électricité par cogénération.

Les filières locales de production d'énergie sont aussi une possibilité. Cela nécessite une logistique de collecte : la mise en place de plateformes bois-énergie est une des solutions qui permettent le développement de ces réseaux locaux avec une gestion optimale des flux entre producteurs et consommateurs de bois-énergie.



Les dosses et chutes de sciage peuvent servir à la production de plaquettes (chips) de bois à destination des chaufferies

Les produits connexes de la **transformation secondaire** du bois se composent principalement de :

- chutes de sciages (mise à longueur des planches) ;
- copeaux et sciures sèches (issue des machines-outils de rabotage, perçage, découpe) ;
- poussières fines de ponçage ;
- chutes de panneaux (mise à dimension).

La plupart des entreprises de la seconde transformation utilisent souvent des matières premières variées (MDF, contreplaqués, OSB, panneaux de particules, poutres en lamellé-collé...). Ces matières pouvant contenir des composés organiques halogénés ou des métaux lourds, les produits connexes issus de leur transformation ne peuvent pas être utilisés dans des chaufferies standards, car

ils constituent un risque pour l'environnement. Seules les installations équipées de filtres et de technologies adéquates peuvent les utiliser, à condition de respecter les dispositions de l'Arrêté du Gouvernement wallon (AGW) du 21 février 2013 déterminant les conditions sectorielles relatives aux installations d'incinération et de coïncinération de déchets. Une exploitation rentable ne peut dès lors s'envisager que dans des installations industrielles de grande puissance.

Bois issu de la récupération de bois de rebuts ou en fin de vie

Ces bois proviennent principalement de la récolte des déchets encombrants, du tri dans les parcs à containers et des chantiers (construction et démolition).

Ces déchets constituent un large éventail de bois allant de bois exempts d'adjuvants aux bois fortement contaminés. Une classification issue du secteur professionnel de gestion de ces déchets est couramment utilisée, bien qu'elle n'ait pas de valeur réglementaire. Elle définit la valeur marchande de ces déchets ;

- déchets de bois A : bois non traité, massif, naturel (palettes, planches, poutres, sciures). Ils peuvent être recyclés dans l'industrie du bois ou utilisés comme combustible (sous certaines conditions) ;
- déchets de bois B : toutes sortes de déchets en bois pur ou composite (panneaux en particules bois, bois aggloméré, portes, châssis, bois peint, meubles de cuisine). Ils sont utilisés

comme combustible (sous certaines conditions) et dans une certaine proportion dans l'industrie du bois ;

- déchets de bois C : bois traité ou imprégné avec des agents de protection tels que créosote, sels de cuivre, chrome et arsenic (piquets de clôture, billes de chemins de fer). Ils peuvent éventuellement présenter un caractère dangereux et ne peuvent être valorisés en énergie que sous certaines conditions.

Il existe d'autres classifications des déchets de bois, mais celle qui a valeur réglementaire en Wallonie est celle établie dans le catalogue wallon des déchets (AGW du 10 juillet 1997).

Les déchets de bois de type B ou C contiennent des polluants dont la combustion dans une installation non adaptée peut générer des émissions atmosphériques polluantes et dangereuses pour la santé, résultant de la dégradation incomplète des colles et vernis. Dès lors, la valorisation énergétique de ces déchets ne peut être envisagée que dans des installations conformes aux dispositions de l'AGW du 21 février 2013.

Ces déchets ne doivent donc en aucun cas être brûlés par des particuliers que ce soit à l'intérieur (feu ouvert, poêle à bois, ...) ou à l'extérieur (feu dans le jardin).

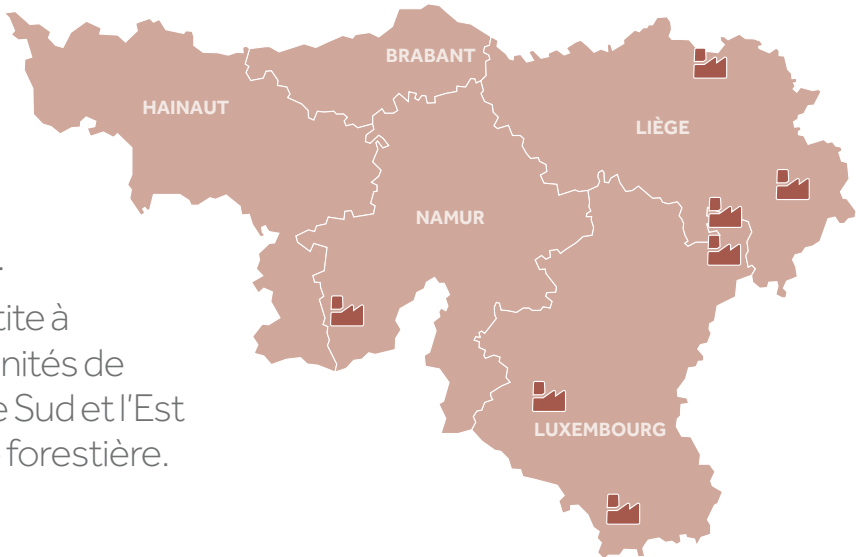
Ces déchets de bois de type B et C ne conviennent pas non plus pour la production de pellets destinés au chauffage domestique.

Filières de production de combustibles bois

Granulés et bois densifié

Nous comptons 12 sites de production de pellets en Belgique, dont 7 en Wallonie.

La taille des sites varie de petite à moyenne ; les plus grosses unités de production se situant dans le Sud et l'Est du pays, près de la ressource forestière.



La plupart des producteurs de pellets wallons actuels sont des scieries qui ont intégré une ligne de pelletisation et à une cogénération biomasse. Cette intégration leur permet de valoriser de manière optimale l'ensemble des connexes de l'entreprise :

- les écorces et résidus d'exploitation permettent d'alimenter une unité de cogénération. La production électrique sert aux besoins de la scierie et de la ligne de pelletisation tandis que le surplus est injecté sur le réseau. La chaleur est valorisée sur place pour le séchage des planches et des intrants de la production de pellets ;
- les plaquettes et sciures propres sont utilisées comme matière première pour la production de pellets.

La première unité de granulation wallonne a vu le jour en 2005. Elle avait une capacité de production de 15.000 t annuelles de pellets, et n'était pas intégrée à une scierie. Elle n'existe plus actuellement. 2007 fut l'année qui a vu la plus importante augmentation de la capacité de production ; celle-ci passant de 15.000 à 270.000 t/an (dont une unité de plus de 100.000 t/an), répartie entre six producteurs dont deux sont des scieries. L'année suivante fut également remarquable, avec une capacité totale installée qui est passée à 420.000 t/an. Cette augmentation s'explique en partie par la conversion de centrales électriques belges fonctionnant au charbon en centrales 100% renouvelable, fonctionnant aux pellets. Ces conversions ont été perçues comme une opportunité pour

certains groupes d'investisseurs et grandes scieries wallonnes qui ont dès lors développé des unités industrielles de production de pellets. En 2013, l'un des producteurs a même encore quasi doublé sa capacité de production. En 2017, on avoisine les 650.000 t de capacité totale installée.

Pour ce qui concerne la production effective de pellets, la progression n'a pas suivi le même schéma ; restant bien en-deçà de la capacité installée : à peine 70% en 2012, 65% en 2015 et 75% en 2017 malgré une forte hausse en 2008 et une progression quasi continue ensuite.

La part de la production de pellets destinée au chauffage domestique est restée faible (34%) jusqu'en 2012 car jusque là, les pellets étaient prin-

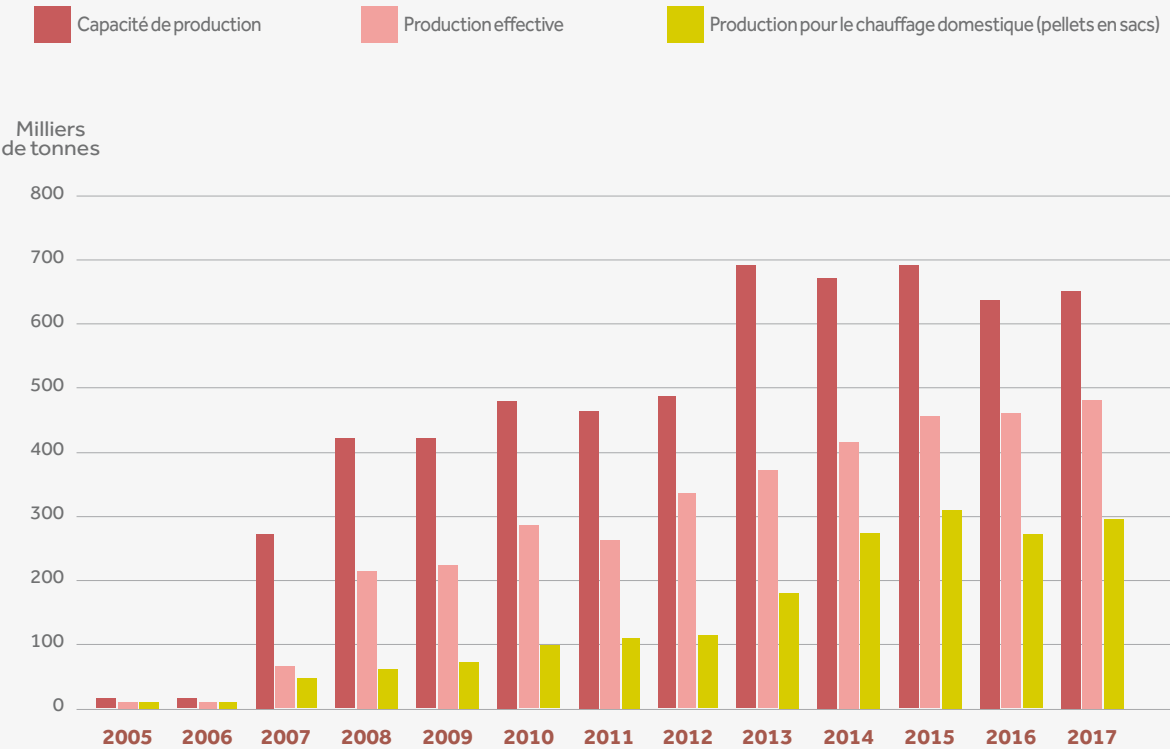
cipalement destinés à alimenter des centrales électriques. La tendance s'est inversée par la suite car ces centrales ont progressivement privilégié des pellets produits à l'étranger, moins chers, jusqu'à ne plus du tout utiliser de pellets locaux en 2014. Les producteurs wallons ont réagi en transformant leur outil de production et en se tournant vers le marché du chauffage domestique.

Ce nouveau marché n'est toutefois pas en mesure d'absorber toute

la production effective et encore moins la capacité de production car la demande est comparativement faible. Les ménages se chauffant aux pellets sont encore trop peu nombreux et leur demande varie en fonction de la rigueur hivernale. Ces ménages ont en outre le choix de s'approvisionner en pellets produits à l'étranger. Pour ces raisons (faible demande, marché concurrentiel et situation de surcapacité de production), le secteur de la production de pellets rencontre des difficultés depuis 2014.

La production de **briquettes et bûchettes de bois densifiées** en Wallonie est beaucoup plus confidentielle concernant les volumes produits. Nous comptons cinq producteurs en Belgique, dont trois situés en Wallonie, pour une capacité annuelle de production de 15.000 t. Certaines autres sociétés font produire sous leur propre marque, mais ne possèdent pas l'outil de production.

Évolution de la production de pellets en Wallonie



Plaquettes forestières

Pour rappel, les plaquettes forestières sont issues de bois provenant des forêts et espaces verts (à ne pas confondre avec les plaquettes des scieries, dites blanches, qui elles, ne sont pas commercialisées).

Il existe deux types de producteurs de plaquettes forestières en Wallonie : ceux qui en font leur activité principale, et ceux qui en produisent de manière occasionnelle. Ces derniers sont souvent des agriculteurs ou des exploitants forestiers qui possèdent déjà un tracteur et un accès à la ressource bois, qui ont fait l'acquisition d'un broyeur mobile. Ils profitent d'une période creuse pour produire et commercialiser des plaquettes.

Les producteurs en activité principale ont bien souvent réalisé des investissements bien plus importants dans une infrastructure complète permettant de fournir une plaquette de qualité et en quantité :

- dalle de stockage sous abri ventilé ;
- sècheurs à biomasse, alimenté avec les rebuts de la production de plaquettes (fines, écorces, queues de broyage) pour garantir une humidité < 25 % ;
- tamis pour homogénéiser la granulométrie ;
- camions – remorques adaptés pour la distribution de plaquettes.

19 producteurs et/ou fournisseurs de plaquettes de chauffage sont actuellement recensés dans une liste diffusée par ValBiom sur son site internet. Cette liste non exhaustive est mise à jour au fur et à mesure que des informations sont récoltées par ValBiom. La capacité de production est estimée à environ 100.000 t annuelles, mais il est très difficile d'obtenir un chiffre précis.

Bois-bûches

Cette filière est la plus opaque. Les producteurs de bois-bûches sont très nombreux et exercent parfois leur activité en complément d'une autre activité liée à l'exploitation forestière. Nombreux sont les particuliers qui façonnent eux-mêmes leur bois de chauffage, certains en produisent même pour le revendre à proximité. Il est donc très difficile de récolter de l'information sur leur activité, qui représente pourtant une très grande part dans le chauffage domestique au bois.

Cette filière a cependant tendance à se professionnaliser de plus en plus, comme en témoignent certaines initiatives de la part de fournisseurs de combustibles ou d'appareils de chauffage visant à fournir du bois-bûches à leur clientèle existante ou bien pour attirer de nouveaux clients. Ces démarches nécessitent de s'associer avec des professionnels du bois capables de fournir une quantité suffisante de bois-bûches de qualité.

La production de bûches de qualité demande beaucoup de main d'œuvre, chère en Wallonie. De plus, les producteurs de bûches doivent souvent immobiliser beaucoup de trésorerie durant le séchage naturel de leur stock de bois, qui peut durer jusqu'à deux ans. Les professionnels ont donc beaucoup de difficultés à faire face à la concurrence considérable que représentent les producteurs non-déclarés et les importations depuis l'étranger où la main d'œuvre est moins coûteuse.

Évolution des prix des combustibles bois

ValBiom réalise depuis des années un suivi des prix des combustibles bois. Les résultats de ce suivi démontrent la stabilité des prix de ces combustibles, en comparaison à la grande volatilité des combustibles fossiles. Le prix moyen de certains combustibles bois (comme les plaquettes) sur ces dix dernières années a été plus de 50 % inférieur à leur équivalent énergétique en mazout ou gaz naturel.

La méthodologie suivie et l'analyse de ces évolutions sont disponibles sur le site de ValBiom www.monprojet.labiomasseenwallonie.be (rubrique bois-énergie) ou sur demande à info@valbiom.be

État des lieux des installations à biomasse solide

État des lieux de la chaleur bois pour le secteur des entreprises et collectivités

Il n'existe actuellement pas de recensement officiel ou de centralisation des unités de chauffage au bois dans les entreprises et les collectivités. Plusieurs sources d'information existent cependant, mais il est difficile voire parfois impossible de recouper ces informations. L'état des lieux des chaufferies est donc réalisé dans l'état actuel des connaissances, et ne peut être considéré comme exhaustif.

Projets en fonctionnement dans les entreprises

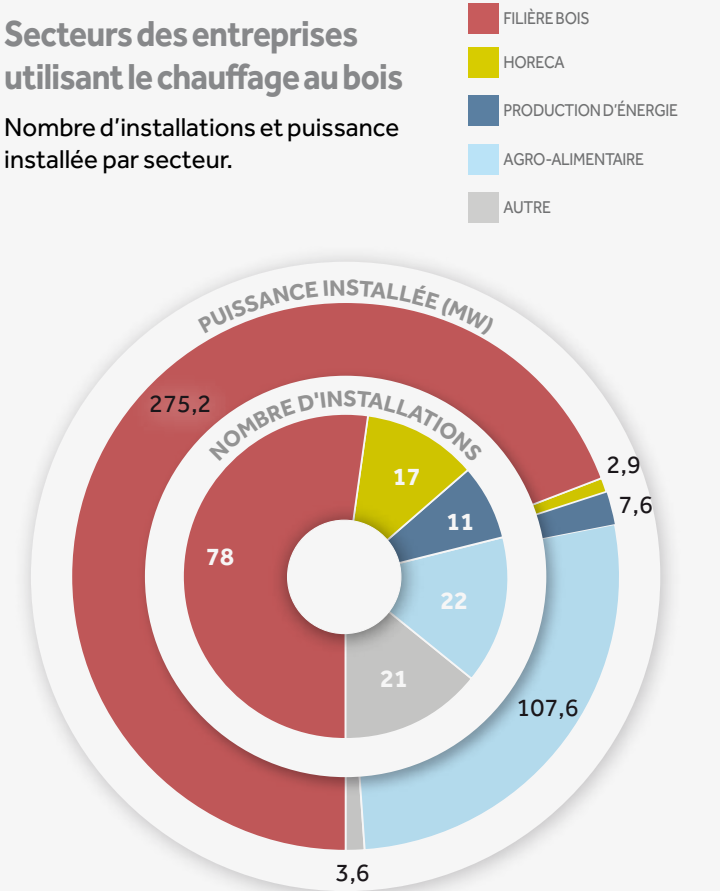
ValBiom a établi une liste des unités dont il a pu avoir connaissance dans le cadre de sa mission de Facilitateur. Cette liste peut être recoupée avec les informations issues du suivi des aides à l'investissement pour l'utilisation durable de l'énergie (Aides UDE), établi par l'Administration.

Le recensement de ValBiom fait état de **149 installations de chauffage au bois** dans les entreprises en Wallonie, pour une puissance thermique totale de **397 MW** (y compris la chaleur issue des cogénérations). La taille des installations varie de quelques dizaines de kW à 100 MW. Les dix plus grosses installations sont principalement des cogénérations installées dans les entreprises, et représentent à elles seules 85 % de la puissance totale installée.

Les installations fonctionnant au bois sont principalement situées dans le secteur des métiers du bois (scieries, menuiseries, industries du bois...), suivi par le secteur agro-alimentaire. Le secteur de la production d'énergie comprend les sociétés qui réalisent de la vente de chaleur (via les réseaux de chaleur) et/ou d'électricité.

Secteurs des entreprises utilisant le chauffage au bois

Nombre d'installations et puissance installée par secteur.



Lorsqu'on regarde la puissance installée par secteur, on remarque que les métiers du bois et l'agro-alimentaire totalisent 95 % de la puissance de chauffage installée en entreprises, alors qu'ils représentent 75 % du nombre d'installations. Les autres secteurs concentrent donc un grand nombre d'installations de petite puissance.

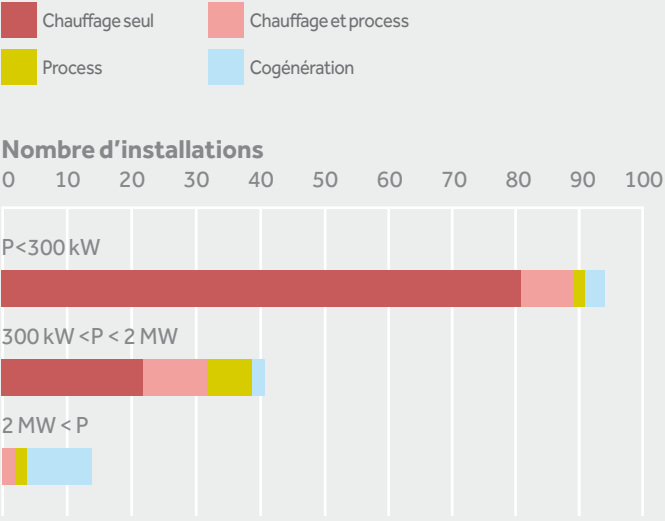
En ce qui concerne la valorisation de la chaleur, la grande majorité des installations de petite et moyenne puissance servent uniquement pour le chauffage des bâtiments (en rouge dans le graphique), parfois au sein de réseaux de chaleur. Les installations destinées à fournir (au moins en partie) de la chaleur pour les procédés des entreprises (séchage, cuisson, production de vapeur, ...) sont moins nombreuses, mais sont principalement des installations de grande puissance, de même que les installations de cogénération.

Ce sont principalement les secteurs de l'agro-alimentaire et la filière bois qui valorisent la chaleur pour leurs procédés de fabrication (aussi via la cogénération). Les autres secteurs utilisent la chaleur surtout pour le chauffage de bâtiments (pour le secteur de la production d'énergie, il existe deux cogénérations qui sont très importantes en regard de la puissance installée et qui alimentent un réseau de chaleur). Ce graphique permet aussi de se rendre compte de l'importance de la chaleur issue de la cogénération.

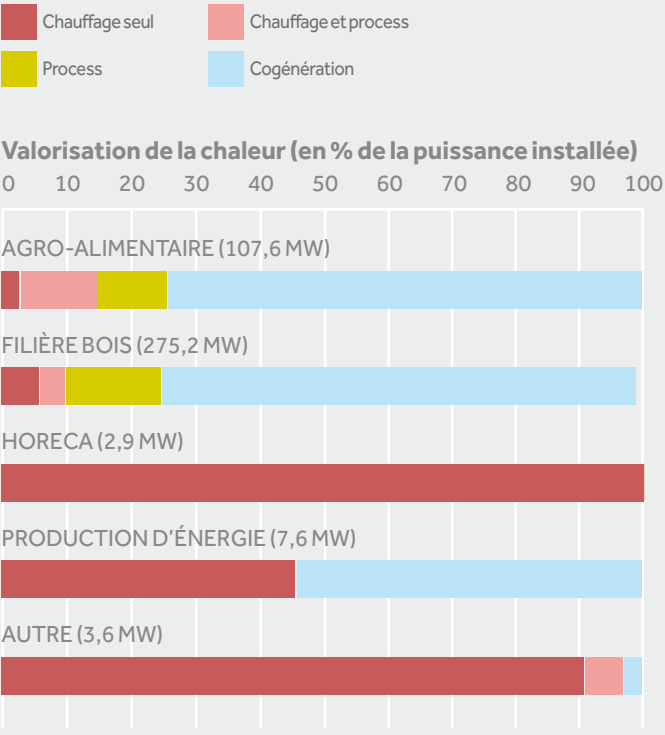
Projets du secteur public (Communes, enseignement, collectivités)

Les installations bois-énergie du secteur public ont été recensées par le facilitateur bois-énergie du secteur public, la Fondation Rurale de Wallonie, qui a recensé **103 installations**, pour une **puissance totale de 26,5 MW** (l'une d'entre elles étant une cogénération d'une puissance de 7,2 MW).

Utilisation de la chaleur en fonction de la gamme de puissance



Utilisation de la chaleur par secteur



État des lieux des cogénérations au bois pour le secteur des entreprises et collectivités

Cet état des lieux se base sur la liste émise par la Commission wallonne pour l'Energie (CWaPE), qui recense les producteurs wallons d'électricité pour la gestion des Certificats Verts (système de soutien à la production d'électricité verte).

Actuellement, la liste de la CWaPE fait état de **15 sites de production d'électricité** à partir de sous-produits de bois, pellets ou liqueur noire.

L'ensemble des installations totalise une puissance de 208 MW électriques et 288 MW thermiques (déjà analysés dans le chapitre précédent). Les puissances électriques sont comprises entre 0,1 et 80 MW_{él}. Les quatre plus grosses installations représentent à elles seules 84 % de la puissance électrique totale installée, soit 175 MW.

En Wallonie, il n'existe qu'une seule centrale qui produit exclusivement de l'électricité à partir de bois : c'est la centrale des Awirs (Flémalle), exploitée par Electrabel (Groupe GDF-Suez). Elle fonctionnait anciennement au charbon, mais elle a été convertie en 2005 pour produire uniquement de l'électricité à partir de pellets de bois. Elle peut développer une puissance de 80 MW et fournir en électricité l'équivalent de la consommation annuelle de 175.000 ménages.

Mis à part la centrale des Awirs qui produit 100 % d'électricité, les principaux producteurs sont les unités de cogénération (électricité + chaleur) de l'industrie du bois qui utilisent principalement des sous-produits de leur process industriels. La papeterie Burgo Ardennes est la plus grosse installation de cogénération à base de combustible bois (59 MW_{él}). Elle utilise la liqueur noire issue du processus de fabrication de pâte à papier. Les unités de IBV (18 MW_{él}), Renogen (10 MW_{él}), ERDA (6 MW_{él}) et Pauls Holzindustrie (5 MW_{él}) utilisent de la biomasse forestière. La cogénération de Biowanze est aussi une grosse unité (19 MW_{él}) et fonctionne quant à elle en partie avec du son de blé, résidu du processus de fabrication de bioéthanol. A noter aussi que l'unité de cogénération de Recybois (3,8 MW_{él}) utilise comme combustible du bois B, issus des collectes dans les parcs à containers.

Parc de chauffage domestique

Comme pour le chauffage en entreprise, il n'existe actuellement pas de recensement officiel ou de centralisation des unités de chauffage au bois pour les particuliers. Plusieurs sources d'informations existent cependant, basées sur des enquêtes réalisées au niveau national et extrapolées. L'état des lieux est donc réalisé dans l'état actuel de nos connaissances, et ne peut être considéré comme exhaustif.

Une connaissance plus précise du parc de chauffage domestique, souvent pointé comme l'un des plus gros contributeurs à la pollution par les particules fines, permettrait pourtant de mieux estimer son impact réel. Une connaissance précise de l'état des technologies installées permettrait d'estimer avec précision l'impact de politiques ciblées visant à favoriser l'installation de technologies modernes, plus performantes et plus propres. De plus, cela permettrait d'évaluer plus précisément la contribution du chauffage au bois des ménages à l'atteinte des objectifs de production d'énergie renouvelable pour lesquels la Wallonie s'est engagée.

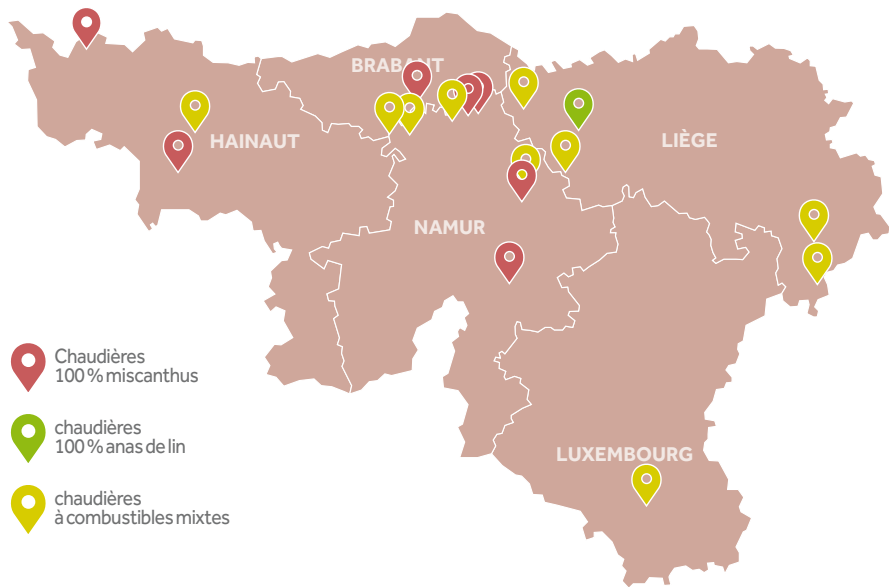
Dans le bilan énergétique de la Wallonie 2016 (ICEDD 2018), il est renseigné que l'on estime à 46.750 le nombre de logements wallons chauffés principalement au bois et 397.000 logements utilisant le bois en chauffage d'appoint.

État des lieux des installations fonctionnant aux agrocombustibles

Chaudières

En 2018, 18 chaudières utilisant (au moins partiellement) de la biomasse agricole sont recensées par ValBiom en Wallonie. On constate donc une progression sensible de 8 unités depuis le recensement de 2015. La carte ci-contre présente l'emplacement de ces unités de production de bioénergie agricole. Les unités fonctionnant au bois (hors T(t)CR) ne sont donc pas reprises sur cette carte, bien que dans de nombreux cas il s'agisse d'unités dites «biomasse» pouvant accepter une large gamme de combustibles.

Sept chaudières utilisent exclusivement du miscanthus, une chaudière utilise des anas de lin et dix chaudières utilisent un mélange de combustibles agricoles. Dans bien des cas, ces installations fonctionnent au miscanthus, suppléé par de la plaquette forestière produite localement lorsque la quantité du miscanthus ne suffit pas. Notamment, lors des deux premières années qui suivent la plantation du miscanthus. Dans ce cas, l'approvisionnement mixte est envisagé dans une phase de transition. Rappelons que les matières ne peuvent être valorisées « en mélange » mais bien par lots successifs.



Quelques constats de coûts...

La consommation d'agrocombustibles autoproduits permet d'atteindre un prix de revient compris entre 7 et 14 c€/litre équivalent mazout. Cette variabilité s'explique par divers facteurs tels que l'éventuel coût de location de la terre ou du matériel de récolte.

Lorsque le combustible est vendu à une tierce personne équipée d'une chaudière, un prix de départ fixé entre 100 et 120 €/tonne de miscanthus semble un bon compromis. Ceci correspond à un prix de revient pour l'utilisateur compris entre 23 et 28 c€/litre équivalent mazout. Le prix des agrocombustibles ligneux se calque quant à lui sur celui des plaquettes forestières.

Notons qu'une chaudière nouvellement installée valorise du peuplier produit en taillis à courte rotation alors que l'approvisionnement d'un réseau chaleur communal est constitué pour moitié de plaquettes de saule (taillis à très courte rotation produit sur le territoire communal). Il n'y a pas, dans l'état de connaissances, de chaudières fonctionnant exclusivement à partir d'autres biomasses agricoles : chènevotte de chanvre, panic érigé, paille de céréales, etc.

État de la filière

Actuellement, les projets impliquant la consommation d'agrocombustibles autoproduits sont aujourd'hui largement dominants. Ceci s'explique en premier lieu par la haute rentabilité de ces modes de fonctionnement. Dans tous les cas, les chaudières installées se substituent à des installations fossiles, essentiellement chaudières à mazout.

On assiste par ailleurs à un début de structuration de filière à l'image de ce qu'on a pu constater dans les pays limitrophes. En effet, il existe en Wallonie plusieurs projets impliquant une chaudière dont l'approvisionnement est envisagé par contractualisation auprès d'agriculteurs locaux. La confiance dans le matériel bénéficie aujourd'hui de retours d'expériences substantiels dans les pays limitrophes (>20 ans).

On constate que les projets agrocombustibles sont de plus en plus nombreux. Ces projets répondent

d'abord à des problématiques environnementales telles que l'érosion des sols, la protection de la ressource en eau ou la restauration d'un maillage écologique. De ces déterminants environnementaux découlent ensuite des opportunités locales de valorisation énergétique. Dans ces cas particuliers, ce n'est donc pas une demande énergétique nouvelle qui constitue le point de départ de la réflexion. Il s'agit d'une dynamique qu'on peut qualifier de positive dans la mesure où les services environnementaux rendus et les liens sociaux qui en résultent sont susceptibles de garantir encore davantage la pérennité des investissements, tant en matière d'infrastructures énergétiques qu'en matière de plantations.

Gazéification et pyrolyse

Aucune installation de gazéification ou de pyrolyse de biomasse d'origine agricole n'est actuellement connue en Wallonie.

Rédaction :



081/87 58 87
info@valbiom.be
www.valbiom.be

