

FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

foretnature.be

Rédaction : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :
librairie.foretnature.be

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :
foretnature.be

Retrouvez les anciens articles de la revue
et d'autres ressources : **foretnature.be**



LE BOIS-ÉNERGIE : CÔTÉ UTILISATEUR

DIDIER MARCHAL – MICHEL BAILLY

© fw

Le bois-énergie domestique est au devant de la scène depuis deux ou trois années : nouvelles chaudières, nouvelles unités de production de granulés, nouvelles primes énergie. Tout semble indiquer un décollage du marché. Mais au-delà de ces tendances, qu'en est-il exactement du coût, du rendement et du confort d'une telle installation, côté utilisateur ?

Ces dix dernières années, nous avons assisté à la multiplication des initiatives et des projets bois-énergie à dimension industrielle ou semi-industrielle. Tantôt une chaudière collective pour l'alimentation de différents bâtiments communaux⁴⁻⁵, tantôt l'auto-alimentation d'un séchoir par la récupération des connexes de scierie. Ou enfin, à une toute autre échelle, la reconversion de la centrale Electrabel des

Awirs en 2005 (centrale électrique au charbon adaptée pour produire de l'électricité à partir de granulés). Autant d'expériences dont les motivations et retombées économiques dépassent largement l'échelle du citoyen moyen.

Depuis peu, pourtant, c'est l'usage domestique du bois-énergie qui semble avoir le vent en poupe. De nouvelles chaudières à



Sous quelque forme que ce soit, le taux d'humidité du bois est un paramètre déterminant d'une bonne combustion. Pour les bûches, un matériel sec de deux ans (arrière-plan) est préférable à du bois frais (avant-plan).

© D. Marchal

bois dimensionnées pour des habitations unifamiliales fleurissent tant chez les constructeurs traditionnels qu'à la faveur de la naissance de nouveaux développeurs spécialisés dans le domaine du bois.

Côté efficacité, leurs rendements ne cessent d'augmenter atteignant pour certains combustibles la valeur des 95 %, pratiquement identique à celle des chaudières modernes à mazout. Les poêles affichent également des rendements de plus en plus impressionnants, ainsi que des innovations technologiques avec, au sommet du raffinement, les poêles à granulés à contrôle thermostatique électronique et autonomie de plusieurs dizaines d'heures.

Côté prix – explosion de la demande oblige – les choses évoluent également fortement. Si certaines installations représentent encore un investissement important, ne se justifiant que sur un retour à moyen terme, on a vu apparaître ces deux ou trois dernières années des options bois d'un ordre de grandeur tout à fait comparable

aux appareils à combustible fossile. Si l'on tient compte des différents avantages fiscaux (primes régionales et déductions fiscales, ainsi que dans certains cas des aides provinciales et communales), certaines installations à granulés ne sont pratiquement pas plus onéreuses que leurs équivalentes « mazout ».

Enfin, pour ce qui est du confort à l'utilisation, les améliorations vont également bon train. Ainsi, une chaudière à granulés équipée d'un réservoir de bonne capacité est, à l'utilisation, tout à fait équivalente à une chaudière traditionnelle à combustible fossile. Elle s'installe comme une chaudière traditionnelle : il est d'ailleurs tout à fait envisageable de remplacer une chaudière à mazout par une chaudière à granulés, sans aucune modification de tuyauterie.

Toutes ces évolutions font que le bois n'est plus seulement une option alternative pour un public soucieux de l'environnement. Il fait partie des solutions au même titre que le gaz, le mazout ou l'élec-

tricité. Il serait donc possible d'associer aujourd'hui, chauffage économique et écologique. C'est ce que nous entendons illustrer au sein de cet article par quelques exemples chiffrés.

LA COMBUSTION

Il ne nous semble pas inutile de rappeler en quelques mots les principes de la combustion du bois³ et les différents facteurs qui peuvent l'influencer.

Le processus se déroule en plusieurs phases qui se succèdent ou se chevauchent :

- *le séchage* : grâce à la chaleur du foyer, l'eau encore contenue dans le bois s'évapore ; cette réaction est endothermique c'est-à-dire qu'elle nécessite de l'énergie ;
- *la pyrolyse* : sous l'action de la chaleur, les constituants du bois se décomposent en gaz et en fines gouttelettes de goudrons qui se vaporisent. Plus la température est élevée, plus il y a production de gaz aux dépens de charbon. La majo-

rité de ces composés gazeux sont combustibles. Cette réaction est également consommatrice d'énergie ;

- *la 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). Il se dégage alors de la chaleur dont une partie est utilisée par les deux étapes précédentes ;
- *la combustion du résidu carboné* : lorsque les gaz se sont dégagés, le résidu carboné brûle à son tour (incandescence des braises).

Plus la pièce de bois est de dimensions importantes, plus 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, etc.

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



Les appareils modernes de chauffage au bois permettent une combustion complète avec de faibles émissions de polluants grâce à une température de combustion élevée, un temps de séjour élevé dans la zone chaude, un bon mélange entre les gaz combustibles produits lors de la pyrolyse et l'air comburant, un excès d'air faible.

CARACTÉRISTIQUES DU COMBUSTIBLE

Le pouvoir calorifique et la masse volumique

Le pouvoir calorifique⁶ exprime le contenu énergétique d'un produit c'est-à-dire la chaleur dégagée par sa combustion complète. L'unité de mesure est le mégajoule par kilo mais nous l'exprimons dans cet

Tableau 1 – Équivalence des unités d'énergie (TEP = tonne équivalent pétrole).

	kWh	MJ	TEP
1 kWh =	1	3,6	86.10 ⁻⁶
1 MJ =	0,2778	1	24.10 ⁻⁶
1 TEP =	11 630	41 868	1

article en kiloWatt.heure/kg. Cette unité, équivalente à l'énergie nécessaire à faire fonctionner durant 1 heure un radiateur électrique de 1 000 watts, nous paraît plus parlante.

Qu'il soit résineux ou feuillu, le bois « pur » possède à l'état anhydre (0 % d'humidité) un pouvoir calorifique assez constant de l'ordre de 5,1 kWh/kg soit quelque 44 % du pouvoir calorifique des carburants issus du pétrole (11,6 kWh/kg). Donc, à poids égal, un produit pétrolier contient environ deux fois plus d'énergie que le bois. Ce constat n'est, en lui-même, pas pénalisant. Il signifie simplement qu'il faut utiliser une masse double de bois pour obtenir la même quantité d'énergie.

La masse volumique exprime, quant à elle, le degré d'encombrement de cette masse. Elle est extrêmement variable selon la forme de bois utilisée (bûches, granulés, plaquettes). Le tableau 2 reprend quelques valeurs à titre d'exemple.

Plus la masse volumique est importante, plus le produit est pratique à utiliser (volume de stockage limité, transport plus

Tableau 2 – Masse volumique et pouvoir calorifique de différents combustibles.

Combustible	Masse volumique (kg/m ³)	Pouvoir calorifique (kWh/kg)	Pouvoir calorifique (kWh/m ³)
Bois bûche (0 % humidité)	450 à 650	5,1	2 295 à 3 315
Bois bûche (50 % humidité)	900 à 1 300	2,2	1 980 à 2 860
Plaquettes forestières (30 % humidité)	320	3,3	1 056
Granulés (8 % humidité)	650 à 700	4,7	3 055 à 3 290
Pétrole	850	11,6	9 860

rentable, etc.). Mais, dans le domaine du bois, une masse volumique importante ne signifie pas pour autant une plus grande valeur énergétique par volume. En effet, eau et éléments minéraux peuvent augmenter considérablement la masse d'un même volume de bois sans pour autant lui apporter le moindre contenu énergétique supplémentaire. C'est pour cette raison que la masse volumique s'exprime pour un taux d'humidité donné.

Comparativement au mazout, le bois sous quelque forme que ce soit, présente un pouvoir calorifique plus faible par unité de masse, si bien qu'à 1 volume de mazout correspondent environ 3 volumes de granulés, 7,5 de stère de bois et 10 de plaquettes. Se chauffer au bois nécessite donc de disposer d'un volume de stockage relativement important ou de s'approvisionner régulièrement.

L'humidité du combustible

L'eau augmente la masse du bois mais mobilise également une part conséquente de l'énergie pour son évaporation. Il en résulte :

- la perte de l'énergie utilisée par le séchage ;
- une baisse de la température dans la chambre de combustion et, par conséquent, une moins bonne décomposition thermique du bois ce qui empêche une combustion intégrale de tous les composants du bois avec pollution considérable de l'environnement ;
- une augmentation de la vapeur d'eau qui modifie significativement le volume des gaz produits. Leur vitesse de passage s'en trouve augmentée, les gaz combustibles ont ainsi moins le temps de se combiner à l'oxygène de l'air et de brûler complètement ;

- enfin, l'énergie contenue dans les imbrûlés est également perdue.

Pour cette raison, il est recommandé de ne pas utiliser les bûches avant deux ans de séchage (de même, on n'utilisera pas de bois traités [peinture, vernis...] dans les appareils de chauffage au bois) et les plaquettes à une humidité supérieure à 30 %. Celles-ci doivent par ailleurs être stockées sous abri.

Quant aux granulés, ils sont conditionnés à 8 % d'humidité. Certaines unités de production de granulés utilisent de la sciure de feuillus alors que d'autres préfèrent la sciure de résineux. En termes de pouvoir calorifique, il n'y a pratiquement pas de différences entre les deux types. Les granulés peuvent être livrés en vrac (camion souffleur) ou en sacs hermétiques.

PRODUITS DE LA COMBUSTION

Pur et sec, le bois est formé de longues molécules polymériques, c'est-à-dire de longs assemblages répétitifs de molécules identiques. Ces longues molécules sont principalement la cellulose, la lignine et l'hémicellulose. Du point de vue chimique, les principaux constituants du bois sont donc le carbone, l'hydrogène et l'oxygène. On trouve cependant dans le bois quelques polysaccharides, des pectines ainsi que des matières minérales en proportions limitées. Les substances polluantes comme le soufre, le chlore et les métaux lourds sont pratiquement inexistantes (sauf dans le bois traité, d'où la nécessité de n'utiliser que du bois sain dans les appareils de chauffage).

Le bois comporte généralement moins de 2 % de matières minérales mais cela varie

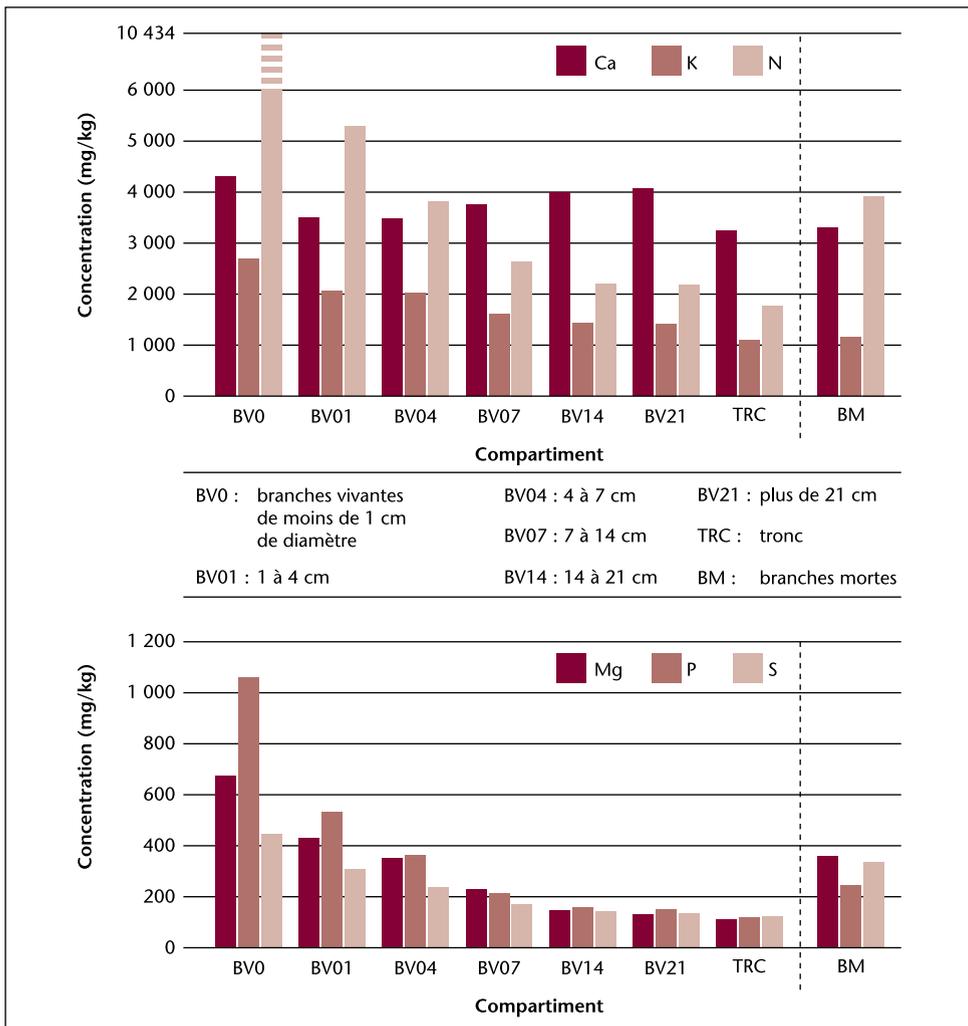


Figure 1 – Concentration en éléments minéraux au sein des différents compartiments (chêne).²

d'une espèce à l'autre. À titre d'exemple, une analyse fine du bois de chêne, révèle, la présence d'azote, de potassium, de calcium, de magnésium, etc. (figure 1).

La combustion intégrale du bois donne donc essentiellement naissance à du gaz carbonique, de la vapeur d'eau et des cendres. Une combustion incomplète peut par contre entraîner le dégagement de

toute une série de substances polluantes, comme du monoxyde de carbone (toxique), de l'acide acétique, du phénol, du méthanol (toxique), du formaldéhyde, de la suie et du goudron.

La quantité de CO₂ dégagée lors de la combustion du bois est comparable à celle produite naturellement lors de sa décomposition. Elle correspond à celle qui a été

extraite de l'air par la photosynthèse au cours de la croissance de l'arbre. Cependant, le bilan au niveau des rejets de gaz à effet de serre, n'est pas nul pour autant. Il importe d'intégrer les étapes que sont la valorisation des cendres, la production de gaz autres que le CO₂ lors de la combustion (CH₄, N₂O) ainsi que la mise à disposition du produit. Ces deux derniers facteurs contribuant environ pour moitié chacun au bilan. Il n'en reste pas moins que la filière bois-énergie produit dans le pire des cas de 2,5 à 10 fois moins de gaz à effet de serre que les filières « combustibles fossiles ».

Les cendres sont les résidus incombustibles solides constitués de matières minérales composées principalement de chaux, de potasse, d'acide phosphorique, de silice et de magnésie. La quantité des cendres est variable suivant l'essence et la qualité de la combustion. Une combustion correcte

donne une cendre blanche et fine. Une teinte sombre signifie qu'il y a des restes de charbon de bois dans la cendre. Il faut savoir que la combustion est d'autant plus parfaite que les gaz sortant de la cheminée sont peu visibles (les panaches de fumées blanches sont souvent le signe de l'utilisation de combustibles humides).

Au niveau des autres rejets (oxydes d'azote et de soufre, métaux toxiques), le bois est toujours plus avantageux que les énergies traditionnelles comme le montre le tableau 3. La combustion du bois émet peu de soufre (SO₂) par rapport aux énergies fossiles comme le fuel et le charbon, elle en émet toutefois plus que le gaz naturel.

Les poussières ont un impact localement sur l'environnement mais, depuis quelques années, des progrès techniques ont été faits pour améliorer la combustion et

Tableau 3 – Comparaison des bilans énergétiques et des émissions de différents combustibles.¹

Type de Chauffage (rendement chaudière, %)	Unité d'énergie utile rendue par unité d'énergie non renouvelable consommée	Bilan effet de serre (kg CO ₂ non renouvelable émis/MWh utile)	Acidification de l'air (g éq. SO ₂ /kWh utile)	Eutrophication (g éq. PO ₄ /kWh utile)
Bûches poêle (65 %)	13,0	40	0,388	0,061
Bûche chaudière (70 %)	14,0	33	0,360	0,057
Plaquettes (75 %)	20,0	33	0,358	0,061
Granulés (85 %)	6,0	42	0,395	0,055
Gaz (95 %)	0,8	222	0,128	0,016
Fioul (90 %)	0,7	466	0,904	0,037
Électricité (100 %)	0,3	105 à 180	0,669	0,031

traiter les fumées au niveau de l'habitat individuel et collectif (traitement des fumées avec séparateur cyclonique, séparateur à manche ou électro-filtre, combustion étagée...).

Enfin, au niveau énergétique, le bois se distingue nettement des autres combustibles (tableau 3) : il restitue plus d'énergie que ce qu'il consomme en termes d'énergie non renouvelable (mobilisation de la ressource, transport, emballage). Ainsi, une unité d'énergie non renouvelable consommée produit de 6 à 20 unités de chaleur. Dans le cas des sources fossiles d'énergie, elles consomment plus d'énergie non renouvelable qu'elles ne produisent d'énergie utilisable. Remarquons que les résultats pour les granulés présentés au tableau 3 se basent sur un système de livraison en sac plastique ce qui accroît fortement les dépenses en énergie non renouvelable. Une livraison en vrac (camion souffleur) ou sacs « bio », améliorerait significativement le bilan.

ANALYSE ÉCONOMIQUE À L'UTILISATION

Dans la majorité des cas, l'achat d'un équipement de chauffage central au bois implique un surinvestissement par rapport aux appareils fonctionnant avec des combustibles fossiles. Par contre, le prix des combustibles-bois est sensiblement moins élevé. Le bilan économique doit donc s'apprécier à l'usage en évaluant en premier lieu le temps de retour de l'investissement, c'est-à-dire la durée d'utilisation pour récupérer le surcoût de l'équipement. Par après, on pourra juger de l'économie éventuelle réalisée au fil du temps.

Le bilan est donc largement orienté par l'évolution des prix des combustibles comparés.

Les voies de valorisations domestiques

Il existe trois types de chaudière à usage potentiellement domestique : à bûches, granulés ou plaquettes.

La chaudière à bûches est la moins onéreuse à l'achat et à l'utilisation et ce, d'autant plus que l'on intervient tôt dans la préparation du combustible (abattage, façonnage, séchage). Elle nécessite un espace de stockage à l'extérieur assez important et un chargement manuel assez régulier, environ deux fois par jour. L'adjonction d'un ballon hydro-accumulateur permettra d'utiliser au mieux la chaudière à bûches.

Les chaudières à granulés sont celles qui présentent le plus de confort à l'utilisation. Elles sont entièrement automatiques et, à l'image des chaudières à mazout, le réservoir est rempli une ou deux fois par an. L'espace de stockage du combustible et l'encombrement de la chaudière sont comparables à ceux d'une chaudière à mazout. Entretien et utilisation sont similaires. On rappellera toutefois la nécessité de vider périodiquement le bac à cendres, voire pour les chaudières les moins perfectionnées un décendrage manuel périodique.

Dans le cas des chaudières à plaquettes, l'alimentation est automatique comme pour les chaudières à granulés mais le volume de stockage est par contre beaucoup plus important. Elles sont également les plus chères des trois catégories. Déjà utilisées dans le secteur industriel (transformation du bois, par exemple) et dans certains

Cas 1 : consommation annuelle équivalente à 2 000 litres de mazout

euros	Mazout	Granulés 1	Granulés 2	Bûches	Plaquettes
Chaudière	2 500	7 500	3 800	3 500	9 000
Citerne/Silo	900	1 700	0	0	2 200
Préparateur ECS	1 100	1 700	1 700	1 700	1 700
Total	4 500	10 900	5 500	5 200	12 900
Différence avec mazout		6 400	1 000	700	8 400

Cas 2 : consommation annuelle équivalente à 4 000 litres de mazout

euros	Mazout	Granulés 1	Granulés 2	Bûches	Plaquettes
Chaudière	2 500	7 500	3 800	3 500	9 000
Citerne/Silo	1 100	2 200	0	0	2 700
Préparateur ECS	1 400	2 000	2 000	2 000	2 000
Total	5 000	11 700	5 800	5 500	13 700
Différence avec mazout		6 700	800	500	8 700

Tableau 4 – Différence de prix entre une installation au mazout et des installations bois-énergie (source : ValBiom⁸, mis à jour).

bâtiments publics, elles sont plus adaptées au chauffage de bâtiments volumineux. Très coûteuses à l'installation, c'est grâce à la consommation qu'elles deviennent rentables.

Coûts des installations

Le tableau 4, issu d'une mise à jour d'une étude publiée par Valbiom en janvier 2006⁷⁻⁸, présente un comparatif financier des différents types d'installation suivant deux schémas d'habitation : consommation annuelle de 2 000 ou 4 000 litres de mazout. Ce tableau est réalisé en tenant compte de l'achat de la chaudière, du système de stockage (silo ou citerne), des préparateurs d'eau sanitaire adaptés à la technologie et de la prime de la Région wallonne pour les chaudières à granulés (1 750 euros), à plaquettes (1 750 euros) ou à bûches (500 euros)*. On considère que les coûts de placement et d'entretien sont équivalents. Les prix renseignés sont des prix moyens. En effet, il est possible

de trouver sur le marché des appareils moins chers tout comme des installations plus coûteuses.

Deux options extrêmes sont proposées pour les chaudières à granulés étant donné qu'il existe sur le marché deux gammes de prix très différentes. L'option « Granulés 1 » représente l'achat d'une chaudière haut de gamme équipée d'un silo de stockage de plusieurs mètres cubes ; « Granulés 2 » une chaudière moins chère équipée d'un silo d'approvisionnement d'une autonomie d'une quinzaine de jours, environ. Il est peu encombrant mais néces-

* On signalera à ce titre que plusieurs types d'appareils de chauffage au bois peuvent bénéficier des primes de la Région wallonne, pour autant qu'ils remplissent un certain nombre de critères. Les listes des appareils éligibles aux primes sont préparées et régulièrement mises à jour par ValBiom. Elles peuvent être consultées sur « energie.wallonie.be » ou sur « www.valbiom.be ».

site un remplissage plus fréquent et une livraison des granulés en sacs.

Pour calculer le temps de retour des différentes installations, il suffit donc de diviser le surcoût par les économies réalisées annuellement sur la facture de combustible (tableaux 5, 6 et 7).

Coûts à la consommation

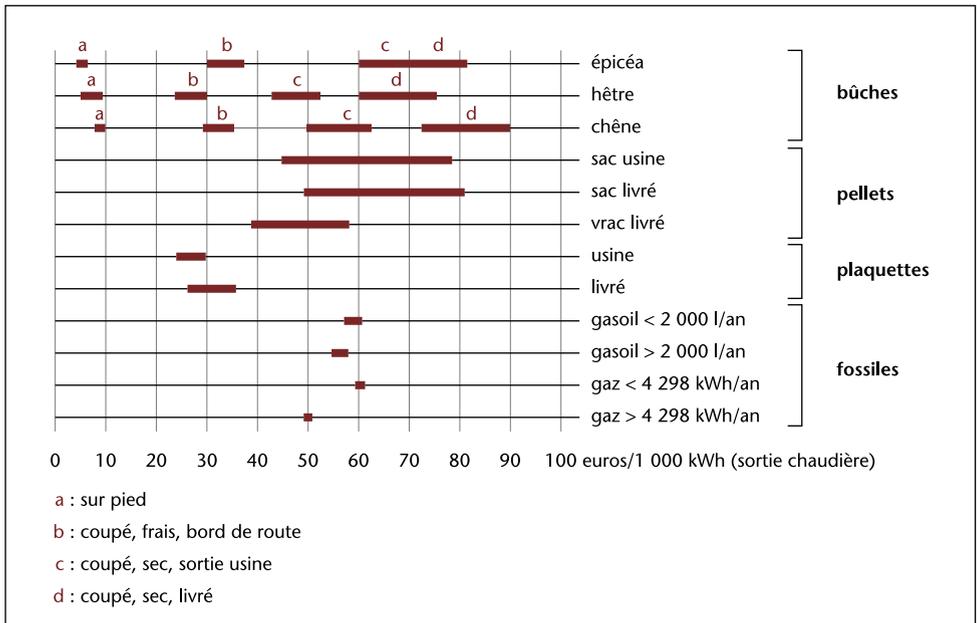
Pour évaluer le prix à la consommation, il faut comparer les prix des kWh « sortie chaudière » c'est-à-dire le coût du kWh « livré » multiplié par le rendement de la chaudière.

Les importantes différences de prix « sortie chaudière » pour un combustible bois donné s'expliquent par la grande hétérogénéité des modes de fourniture et par

la plage de rendement des chaudières. Les bûches peuvent s'acheter sur pied ou être livrées fendues séchées de deux ans ; les granulés, livrés par palettes en sacs de 15 kg ou en vrac à la tonne ; les plaquettes, départ usine ou livrées. Le rendement des chaudières est de l'ordre de 70 à 90 %. Dès lors que l'on envisage les cas de figure extrêmes (prix élevé/faible rendement, prix faible/haut rendement) on se retrouve avec une fourchette de prix « sortie chaudière » très large (figure 2).

Il existe une multitude de combinaisons possibles dans le domaine des installations et de l'évolution du prix des combustibles. Pour se fixer des ordres de grandeur nous avons pris l'option de présenter trois cas particuliers d'installation et d'observer l'évolution de la différence à la consom-

Figure 2 – Comparaison des plages de prix des différents combustibles en fonction du rendement de l'installation, du conditionnement et du fournisseur⁸. Les données datant de janvier 2006, les valeurs ne sont plus d'actualité. Par contre, l'aspect général du graphique l'est encore.



	€/l	0,30	0,40	0,50	0,60	0,63	0,70	0,80	0,90	1,00
€/t	€/1 000 kWh	31,28	41,71	52,13	62,56	65,29	72,99	83,41	93,84	104,27
200,00	47,06	-157,81	-53,51	50,69	154,99	182,29	259,29	363,49	467,79	572,09
210,00	49,41	-181,34	-77,04	27,16	131,46	158,76	235,76	339,96	444,26	548,56
220,00	51,77	-204,87	-100,57	3,63	107,93	135,23	212,23	316,43	420,73	525,03
230,00	54,12	-228,40	-124,10	-19,90	84,40	111,70	188,70	292,90	397,20	501,50
240,00	56,47	-251,93	-147,63	-43,43	60,87	88,17	165,17	269,37	373,67	477,97
250,00	58,83	-275,46	-171,16	-66,96	37,34	64,64	141,64	245,84	350,14	454,44
260,00	61,18	-298,99	-194,69	-90,49	13,81	41,11	118,11	222,31	326,61	430,91
270,00	63,53	-322,52	-218,22	-114,02	-9,72	17,58	94,58	198,78	303,08	407,38
280,00	65,89	-346,05	-241,75	-137,55	-33,25	-5,05	71,05	175,25	279,55	383,85

Pour une consommation annuelle de 10 000 kWh soit 1 000 litres de mazout.

Rendement chaudière à granulés : 90 %, chaudière mazout : 95 %

Prix du marché lors de la réalisation du tableau. Mazout : 0,63 euros/litre pour une commande supérieure à 2 000 litres. Granulés : Entre 200 euros/tonne (livraison vrac) et 240 euros/tonne (sacs de 15 kg livrés).

Tableau 5 – Différence annuelle du coût du combustible entre granulés et mazout.

mation en fonction des évolutions de prix (tableaux 5, 6 et 7).

Analyse

La chaudière à granulés

La différence relevée à l'installation d'une chaudière à granulés est de 800 ou 6700 euros par rapport au coût d'une chaudière au mazout. Cette double possibilité étant liée, comme signalé plus haut, à l'existence de deux gammes très différentes. On ne dispose pas encore du recul pour réaliser une étude comparative de ces différents produits qui justifierait éventuellement une telle différence de prix.

En observant le tableau 5 des coûts à la consommation, on remarque, dans l'état actuel du marché du mazout (0,63 euros/l), que l'on réalise une économie annuelle de 88 à 182 euros par 10000 kWh consommés. Les situations les plus intéressantes correspondant à des livraisons en vrac de grosses quantités (3 à 4 tonnes), les moins intéressantes à la palette de sacs de 15 kg.

Comme signalé, c'est à la consommation que le bois est intéressant. Dès lors, le ménage qui consomme quelque 4 000 litres de mazout et qui opte pour une chaudière à silo de faible contenance, récupère son investissement en un peu plus de 2 ans : minimum de 4 x 88 euros de réduction de facture annuelle, pour un surcoût à l'installation de 800 euros. Ce même ménage, équipé d'une chaudière haut de gamme plus chère mais équipée d'un silo de grande capacité récupère son surcoût de quelque 6700 euros en 9 ans étant donné une réduction de facture annuelle de combustible de 4 x 182 euros.

Par contre, pour une consommation annuelle de l'ordre de 1000 litres, les économies réalisables dans l'état actuel du marché pour les deux cas exposés ci-dessus (respectivement 88 euros/an et 182 euros/an) portent les temps d'amortissement à 9 ans dans le premier cas et 36,8 ans dans le second. Du seul point

	€/l	0,30	0,40	0,50	0,60	0,63	0,70	0,80	0,90	1,00
€/st	€/1 000 kWh	31,28	41,71	52,13	62,56	65,29	72,99	83,41	93,84	104,27
30,00	21,18	101,04	205,34	309,54	413,84	441,14	518,14	622,34	726,64	830,94
40,00	28,24	30,45	134,75	238,95	343,25	370,55	447,55	551,75	656,05	760,35
50,00	35,29	-40,14	64,16	168,36	272,66	299,96	376,96	481,16	585,46	689,76
60,00	42,35	-110,73	-6,43	97,77	202,07	229,96	306,37	410,57	514,87	619,17
70,00	49,41	-181,32	-77,02	27,18	131,48	158,78	235,78	339,98	444,28	548,58
80,00	56,47	-251,91	-147,61	-43,41	60,89	88,19	165,19	269,39	373,69	477,99
90,00	63,53	-322,49	-218,19	-113,99	-9,69	17,61	94,61	198,81	303,11	407,41
100,00	70,59	-393,08	-288,78	-184,58	-80,28	-52,98	24,02	128,22	232,52	336,82
110,00	77,65	-463,67	-359,37	-255,17	-150,87	-123,57	-46,57	57,63	161,93	266,23

Pour une consommation annuelle de 10 000 kWh soit 1 000 litres de mazout.

Rendement chaudière à bois : 85 % ; chaudière à mazout : 95 %. Bois = mélange hêtre/chêne.

Prix du marché lors de la réalisation du tableau. Mazout : 0,63 euros/litre pour une commande supérieure à 2 000 litres. Bois : variable, selon qu'il soit acheté sur pied, bord de route...

Tableau 6 – Différence annuelle de coût du combustible entre bûches et mazout.

	€/l	0,30	0,40	0,50	0,60	0,63	0,70	0,80	0,90	1,00
€/m ³	€/1 000 kWh	31,28	41,71	52,13	62,56	65,29	72,99	83,41	93,84	104,27
10,00	14,12	171,62	275,92	380,12	484,42	511,72	588,72	692,92	797,22	901,52
15,00	21,18	101,04	205,34	309,54	413,84	441,14	518,14	622,34	726,64	830,94
20,00	28,24	30,45	134,75	238,95	343,25	370,55	447,55	551,75	656,05	760,35
25,00	35,29	-40,14	64,16	168,36	272,66	299,96	376,96	481,16	585,46	689,76
30,00	42,35	-110,73	-6,43	97,77	202,07	229,37	306,37	410,57	514,87	619,17
35,00	49,41	-181,32	-77,02	27,18	131,48	158,78	235,78	339,98	444,28	548,58
40,00	56,47	-251,91	-147,61	-43,41	60,89	88,19	165,19	269,39	373,69	477,99

Pour une consommation annuelle de 10 000 kWh soit 1 000 litres de mazout.

Rendement chaudière à bois : 85 % ; chaudière à mazout : 95 %.

Prix du marché lors de la réalisation du tableau. Mazout : 0,63 euros/litre pour une commande supérieure à 2 000 litres. Plaquettes à partir de 10 euros/m³ vrac départ usine.

Tableau 7 – Différence annuelle de coût du combustible entre plaquettes et mazout.

de vue économique, l'option granulés est alors moins évidente.

La chaudière à bûches

Au niveau des chaudières à bûches, la différence de prix est relativement faible par rapport aux chaudières traditionnelles (de l'ordre de 500 à 700 euros, selon

le tableau 4). L'intérêt d'un tel investissement se marquera d'autant plus que l'on se fournit haut dans la filière d'approvisionnement ou que l'on dispose de bonnes adresses. Idéalement, le séchage se fera à domicile, ce qui permet de grosses économies ; l'achat du bois sur pied constituant évidemment la voie la plus

économique, si on dispose du matériel et de la main d'œuvre. Le retour sur investissement dans ce cas-là peut tomber en dessous d'un an.

La chaudière à plaquettes

La chaudière à plaquettes est beaucoup plus onéreuse que la chaudière traditionnelle (différences de plus de 8 000 euros à l'investissement). La plaquette est par contre nettement moins chère au kilowatt.heure « sortie chaudière » que le granulé et le mazout. C'est donc au niveau de la consommation où l'on peut compter sur une économie de 229 à 511 euros par 10 000 kWh consommés que la différence se marque.

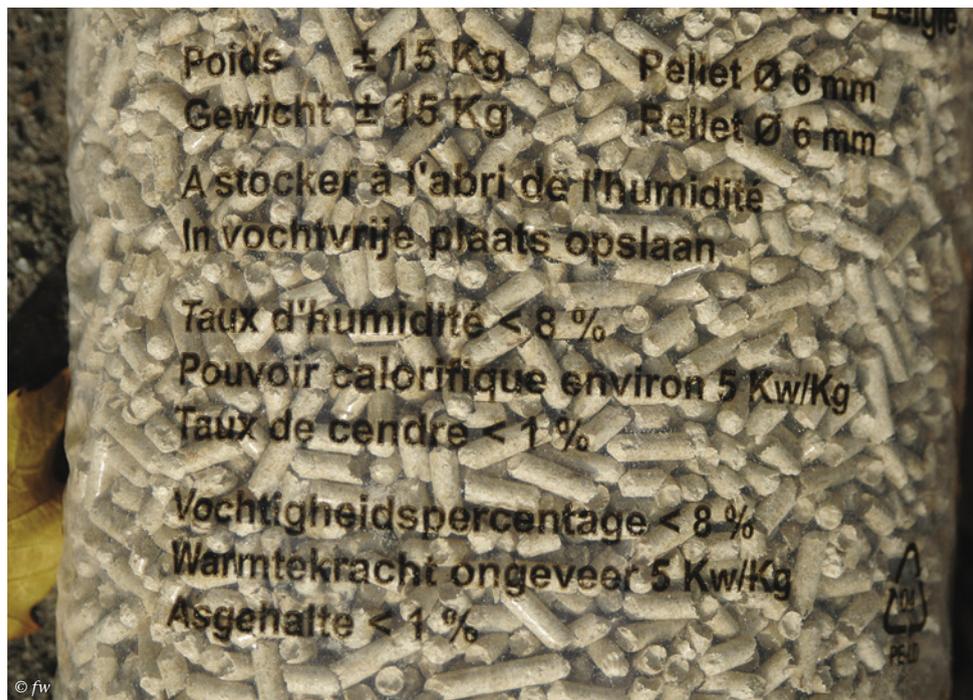
Les chaudières à plaquettes sont en général installées dans des bâtiments volumineux à chauffer, dont la consommation

annuelle est souvent supérieure à 5 000 ou 6 000 litres de mazout.

Notons qu'à contenu énergétique équivalent, les plaquettes occupent un volume presque quatre fois plus important que les granulés. Heureusement, elles sont aussi moins sensibles à l'humidité que ces derniers et n'exigent donc pas d'être stockées dans un local parfaitement isolé ; un espace abrité et aéré suffit généralement.

CONCLUSIONS

Dans l'état actuel des choses, l'option bois-énergie s'avère tout à fait réaliste au niveau du consommateur particulier. Selon le degré de confort souhaité, le degré d'investissement envisageable, l'espace et les moyens financiers disponibles plu-



sieurs solutions sont envisageables qui garantissent bien souvent un bilan financier intéressant.

Bien qu'il soit délicat de faire des hypothèses sur l'avenir, il n'est pas utopique de penser que les prix des combustibles ligneux se stabiliseront dans le futur. En effet, ce marché en pleine expansion bénéficiera d'une meilleure organisation dans l'approvisionnement et d'une évolution des techniques de conversion. Il en va de même en ce qui concerne les chaudières dont les rendements seront certainement encore améliorés à l'avenir. Le développement de ce marché verra de plus se développer la concurrence qui aura un effet favorable sur les prix. Par rapport à la situation d'il y a quelques années, le rendement des appareils de chauffage au bois est tout à fait satisfaisant : 70 à 85 % pour les chaudières à bûches, 90 à 95 % pour les chaudières à granulés (certaines marquent proposent même des modèles à condensation présentant un rendement encore plus intéressant). De nombreux progrès ont également été réalisés pour réduire les émissions de fines particules. Il est donc tout à fait possible, en utilisant le combustible adapté dans l'appareil qui lui est destiné, de réduire son impact sur l'environnement tout en utilisant une source renouvelable de combustible. ■

BIBLIOGRAPHIE

- ¹ ADEME [2005]. *Bilan environnemental du chauffage domestique au bois*. Ivry-sur-Seine, BIO IS pour le compte de l'Ademe, 14 p.
- ² ANDRÉ F., PONETTE Q. [2004]. Vers une gestion plus raisonnée de la fertilité minérale dans les écosystèmes forestiers. Une illustration dans le contexte d'une utilisation du

bois à des fins énergétiques. *Forêt Wallonne 69-70* : 26-29.

- ³ CREHAY R., MARCHAL D. [2004]. *Le chauffage au bois pour les particuliers*. Gembloux, ValBiom, dossier réalisé par ValBiom pour le compte de la DGTRE, 82 p.
- ⁴ FLAHAUX F. [2004]. Présentation du Plan Bois Énergie et Développement rural et des projets existants. *Forêt Wallonne 69-70* : 2-3.
- ⁵ MARCHAL D. [2001]. Le bois-énergie, éternel recommencement ? *Silva Belgica 108(3)* : 20-25.
- ⁶ MARCHAL D. [2001]. Le pouvoir calorifique du bois. *Silva Belgica 108(4)* : 44-45.
- ⁷ MARCHAL D., CREHAY R., VAN STAPPEN F. (in prép.). *Principaux types de chauffage au bois : coûts et performances en 2007*. Gembloux, ValBiom.
- ⁸ ValBiom [2006]. *Les coûts et performances des installations de chauffage au bois*. Gembloux, ValBiom, 29 p.

DIDIER MARCHAL

marchal@cra.wallonie.be
ValBiom asbl,
c/o Centre wallon
de Recherches agronomiques,
Département Génie rural
Chaussée de Namur, 146
B-5030 Gembloux

MICHEL BAILLY

m.bailly@foretwallonnie.be
Forêt Wallonne asbl
Croix du Sud, 2 bte 9
B-1348 Louvain-la-Neuve