

## LES COUTS ET LES PERFORMANCES DES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE AU BOIS

---

ValBiom – Janvier 2006

### Table des matières :

1	<a href="#">Introduction</a> .....	3
2	<a href="#">Quel combustible et à quel prix ?</a> .....	3
2.1	<a href="#">Les bûches</a> .....	3
2.2	<a href="#">Les plaquettes</a> .....	6
2.3	<a href="#">Les granulés</a> .....	7
2.4	<a href="#">Les céréales</a> .....	7
2.5	<a href="#">Comparaison avec le gaz et le mazout</a> .....	8
3	<a href="#">Les notions de puissance et de rendement</a> .....	9
3.1	<a href="#">Généralités</a> .....	9
3.2	<a href="#">Pour les appareils individuels</a> .....	9
3.3	<a href="#">Pour les chaudières</a> .....	10
4	<a href="#">Les installations de chauffage au bois</a> .....	11
4.1	<a href="#">Le chauffage individuel au bois</a> .....	11
4.2	<a href="#">Le chauffage central au bois</a> .....	12
4.3	<a href="#">Le coût des combustibles-bois « sortie chaudière »</a> .....	13
5	<a href="#">Exemples d'application</a> .....	16
6	<a href="#">Annexes :</a> .....	24
7	<a href="#">Références</a> .....	29

### Abréviations et unités :

HR : humidité relative

HTVA : hors TVA

kW : kilowatt

kWh : kilowatt heure

Map : mètre cube apparent de plaquettes

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur, exprimé en MJ/kg (mégajoule par kilogramme, unité internationale) ; on l'exprime également en kWh/kg (kilowatt heure par kilogramme)

m<sup>3</sup>(N) : mètre cube normal

MJ : 1 mégajoule = 10<sup>6</sup> joules = 1 million de joules

TVA : Taxe sur la Valeur Ajoutée

TVAC : TVA comprise



ValBiom asbl  
c/o CRA-W Dépt. Génie rural  
146, Chaussée de Namur  
B-5030 Gembloux

# 1 Introduction

L'achat d'un équipement de chauffage au bois implique souvent un surinvestissement en comparaison aux appareils fonctionnant avec des combustibles fossiles. Cependant, le prix des combustibles-bois est généralement moins cher que le mazout. Ce document a pour but d'illustrer dans quelle mesure le surcoût à l'acquisition d'une chaudière biomasse peut être comblé par l'utilisation d'un combustible moins cher et respectueux de l'environnement. Le chapitre 2 détaille le prix des combustibles biomasse et fossiles selon différentes options d'achat tandis que le chapitre 4 présente les gammes de prix des technologies de poêles et de chaudières disponibles en Région wallonne. Pour permettre une bonne compréhension du document, le chapitre 3 définit différentes notions et normes relatives aux appareils de chauffage au bois. De ces informations, divers scénarios sont utilisés au chapitre 5 pour simuler le coût de différentes installations de chauffage au bois et comparer le temps de retour du surinvestissement vis-à-vis d'installations fonctionnant au mazout.

Les chiffres mentionnés dans ce document représentent un instantané, correspondant à la situation en Wallonie au moment de la rédaction (janvier 2006). Ces données risquent rapidement de ne plus être valides. De plus, les coûts des combustibles ou ceux des appareils de chauffage dépendent de nombreux facteurs. Les hypothèses prises dans ce document ne s'appliquent pas forcément à tous les cas.

Plutôt que des chiffres absolus et de référence, ce document vise à donner au lecteur un outil pour estimer le coût du chauffage au bois et apprécier la complexité de cet exercice.

## 2 Quel combustible et à quel prix ?

### 2.1 Les bûches

Les bûches constituent la forme de bois la plus utilisée pour le chauffage domestique. Elles proviennent principalement de la récupération des houppiers (sommets des arbres ébranchés) lors des coupes commerciales, des élagages, et de l'exploitation de taillis.

Le contenu énergétique du bois (exprimé par son Pouvoir Calorifique Inférieur – PCI) dépend essentiellement de son humidité. En moyenne, le bois anhydre<sup>1</sup> a un contenu énergétique de 18,4 MJ/kg, équivalent à 5,2 kWh/kg.

La figure 1 exprime la diminution du pouvoir calorifique du bois avec son humidité. Lorsqu'il est abattu, le bois a une humidité d'environ 50%<sup>2</sup> (on dit qu'il est 'frais' ou 'vert') et son PCI avoisine 8 MJ/kg (2,2 kWh/kg). Après avoir séché un an à l'air libre, l'humidité du bois descend à environ 30%, son PCI atteint alors 12 MJ/kg (3,3 kWh/kg). Pour être utilisées efficacement et de manière respectueuse de l'environnement, les bûches doivent impérativement avoir séché 2 ans. Dans ces conditions, leur humidité peut descendre jusque 20 % et leur PCI monter jusque 14 MJ/kg (3,9 kWh/kg).

Les bûches sont vendues en stères. Un stère correspond à un empilement de bûches de 1m x 1m x 1m et occupe donc un volume d'un mètre cube de bûches empilées. En fonction des caractéristiques du bois (essence, dimension, régularité) et de la façon dont les bûches sont empilées, le stère contiendra plus ou moins de bois et donc aura un contenu énergétique fort différent.

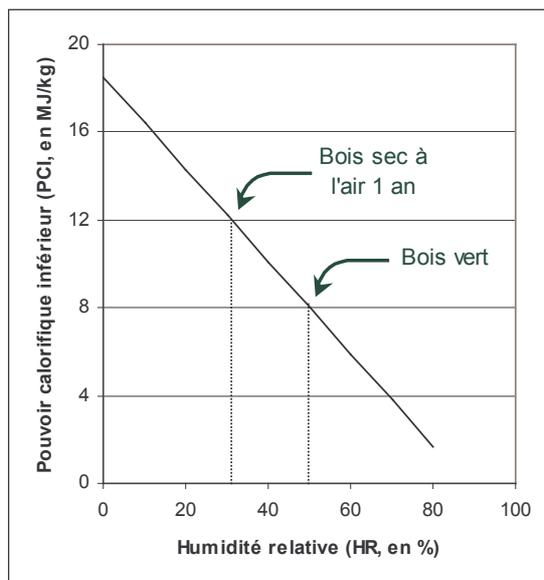
Par exemple, à 25-30% d'humidité, un stère de chêne aura un contenu énergétique de 5.850 MJ (1.625 kWh) pour un coefficient d'empilement<sup>3</sup> de 0,65. Un stère d'épicéa aura lui un contenu énergétique de 3.780 MJ (1050 kWh) pour un coefficient d'empilement de 0,70.

<sup>1</sup> C'est-à-dire qui ne contient pas d'eau, contrairement au bois « sec » qui contient malgré tout encore une proportion d'eau d'au moins 8 à 10%.

<sup>2</sup> Sur base humide.

<sup>3</sup> Le coefficient d'empilement (ou d'empilage) correspond au volume réel de bois dans le stère. Un coefficient de 0.7 signifie ainsi qu'il y a 0.7 m<sup>3</sup> de bois et 0.3 m<sup>3</sup> de vide (air) dans le m<sup>3</sup> de bûches qu'est le stère.

Figure 1 - Influence de l'humidité du bois sur son PCI (Ref.1)



Le tableau 1 exprime les différences de masse volumique (masse par unité de volume) d'un stère en fonction de l'essence considérée. Au sein d'une même essence, les différences de masse du stère s'expliquent par les variations de diamètre et les caractéristiques des bûches (refendues ou non par exemple). Si elles sont rectilignes, il sera possible d'en mettre plus dans un stère et ce dernier aura une masse plus importante. Au contraire, si les bûches sont tortueuses, l'empilement sera plus difficile. Les Réf. 2 et 3 apporteront au lecteur de plus amples informations sur le contenu énergétique des stères de bois en fonction de l'humidité, de l'empilement et de l'essence considérée.

Tableau 1 - Estimation de la masse d'un stère de bûches en fonction de l'essence

Essence	Coefficient d'empilage (Ref. 12) (m <sup>3</sup> / stère)	Densité (estimation pour HR 20%)	
		(kg / m <sup>3</sup> )	(kg / stère)
Chêne	0,46 à 0,68	725	334 à 493
Hêtre	0,58 à 0,77	725	421 à 558
Epicéa	0,62 à 0,76	425	264 à 323

En ce qui concerne l'influence sur le prix des bûches, les facteurs suivants entrent en ligne de compte :

- le conditionnement : bois vendu sur pied, « abattu » ou en bûches façonnées de 1 m, 50 cm ou 33 cm de long ;
- la distance de livraison : « bord de route », « départ vendeur », ou livré à domicile ;
- le séchage : les stères vendus frais seront largement moins chers que les secs de 2 ans ;
- la région considérée : le bois de chauffage est beaucoup moins cher dans les zones forestières. Les zones urbaines comme la périphérie bruxelloise sont considérées comme étant à haut pouvoir d'achat, le bois y est vendu beaucoup plus cher à distance de livraison égale.

En janvier 2006, le prix TVAC moyen du stère pouvait être estimé à :

- Bois sur pied : 5 à 12 €. Dans ce cas, l'utilisateur doit abattre, façonner, débarder, transporter, refendre et sécher lui-même les bûches. Ces prix sont bien entendu les plus attractifs mais cette solution implique que l'utilisateur soit prêt à consacrer du temps, de l'énergie et de l'espace au conditionnement de son bois de chauffe ;
- Bois coupé de 1 m, frais, débardé en bord de route : 30 à 40 €. Dans ce cas, l'acheteur doit transporter, refendre et sécher lui-même les bûches ;
- Bois coupé de 33 cm, sec de 2 ans, « départ vendeur » : 60 à 70 €. Dans ce cas, l'utilisateur doit uniquement transporter les bûches depuis le point de vente ;
- Bois coupé de 33 cm, sec de 2 ans, livré à domicile, dans un rayon proche : 65 à 100 €. Notons que les stères coupés à 50 cm sont légèrement moins chers.

Ces chiffres correspondent à des estimations moyennes, pour des conditions normales d'exploitation et de transport. Les valeurs extrêmes n'ont pas été prises en compte : durant l'hiver 2005-2006, le stère de bûches sèches, coupées à 33 cm pouvait se vendre jusqu'à 200 € dans la région bruxelloise. Hors valeurs extrêmes, le prix net des bûches peut varier de 5 à 100 € en fonction des conditions d'achats énoncées ci-dessus. Nous pouvons considérer 60 – 70 € comme le prix de vente moyen d'un stère pour l'hiver 2005-2006.

Dans le tableau suivant, nous avons considéré que les prix les plus élevés correspondaient aux essences les plus appréciées pour le bois de chauffe (chêne, hêtre et charme), tandis que les prix les plus faibles s'appliquent aux résineux. Remarquons cependant que cette simplification n'est pas toujours vraie.

Tableau 2 – Estimation du prix des bûches en Wallonie (ordre de grandeur ; janvier 2006)

Conditionnement	Prix TVAC	Densité (estimation pour HR 20%)	PCI (HR 20%)		Prix TVAC	
	(€ / stère)	Essence (kg / stère)	MJ/kg	kWh/kg	(€ / 1000 kWh)	
Sur pied	5	Epicéa	264 à 323	14	3,9	3,98 à 4,88
	12	Hêtre	421 à 558	14	3,9	5,53 à 7,34
	12	Chêne	334 à 493	14	3,9	6,26 à 9,25
coupé 1m, frais, bord de route	30	Epicéa	264 à 323	14	3,9	23,88 à 29,28
	40	Hêtre	421 à 558	14	3,9	18,42 à 24,46
	40	Chêne	334 à 493	14	3,9	20,86 à 30,84
coupé 33cm, sec 2 ans, "sortie usine"	60	Epicéa	264 à 323	14	3,9	47,77 à 58,55
	70	Hêtre	421 à 558	14	3,9	32,24 à 42,81
	70	Chêne	334 à 493	14	3,9	36,51 à 53,97
coupé 33cm, sec 2 ans, livré	65	Epicéa	264 à 323	14	3,9	51,75 à 63,43
	100	Hêtre	421 à 558	14	3,9	46,06 à 61,15
	100	Chêne	334 à 493	14	3,9	52,16 à 77,10

Dans le tableau 2, nous considérons que les bûches achetées sur pied ou « frais - bord de route » ont séché deux ans avant leur utilisation dans un appareil de chauffage.

Alors que le prix net du stère de bûches montre déjà des disparités considérables, l'importante variation de masse du stère fait que le prix de la bûche par 1000 kWh peut facilement varier d'un facteur 10 en fonction des critères énoncés ci-dessus. Il est donc difficile de généraliser le prix qui se négocie plutôt au cas par cas.

Il faut en outre considérer ces chiffres avec prudence car la saison 2005-2006 a connu une hausse spectaculaire du prix du bois de chauffe. En effet, seule une minorité d'exploitants forestiers ont pu prévoir deux ans à l'avance le spectaculaire engouement pour le chauffage au bois qu'a connu la Wallonie, suite aux montées subites du prix des combustibles fossiles. La Wallonie ne manque pourtant pas de ressources en bois de chauffe mais ce bois doit néanmoins avoir séché 2 ans pour pouvoir être utilisé. Il y a donc eu une pénurie de bois sec, qui a fait augmenter les prix. Cette hausse de prix a été telle que du bois de chauffe aurait même été importé.

Les exploitants ont bien sûr réagi à cette grimpe subite de la demande et ont produit plus de bûches. Les quantités de bois de chauffe sec seront donc largement à la hausse l'hiver prochain et encore plus pour l'hiver 2007 – 2008. A cause du temps de séchage du bois de chauffe et de sa demande saisonnière, les marchés mettent deux ans à encaisser les variations d'offre et de demande. Certains sont convaincus que les prix vont redescendre progressivement les deux hivers prochains grâce à l'augmentation de l'offre de bois sec. D'autres pensent au contraire que les prix ne redescendront pas.

### Stockage

Les bûches sont stockées en tas à l'abri des précipitations (sous une bâche ou une tôle). Dans le cas d'un poêle à bois chauffant la pièce de séjour, moins de 10 stères sont en moyenne nécessaires pour la saison de chauffe.

## 2.2 Les plaquettes

Les plaquettes de bois (ou chips), sont des petites particules de bois déchiqueté. Les plaquettes de bois proviennent principalement de l'exploitation forestière - on parle alors de plaquettes forestières - ou de la récupération des produits connexes des industries de transformation du bois. De façon plus marginale, les plaquettes peuvent également être produites à partir de bois d'entretien des bords de route, etc.

Les plaquettes sont généralement produites par broyage de bois humide (sciages, houppliers) et séchent dans un hangar aéré. Elles peuvent également être produites à partir de bois sec dans le cas des entreprises de seconde transformation du bois (meubles, etc.) ou si le bois a séché en grumes (troncs non écorchés).

Tout comme pour les bûches, le pouvoir calorifique des plaquettes dépend d'abord de l'humidité du bois. Après un séchage à l'air libre de quelques mois seulement, les plaquettes ont une humidité proche de 30% et sont suffisamment sèches pour être utilisées dans une chaudière domestique. Les plaquettes se négocient en "map" ou mètre cube apparent. A l'instar du stère, le map est un tas de 1m<sup>3</sup> de plaquettes, contenant donc du bois mais aussi des interstices remplis d'air.

Tableau 3 – Estimation du prix des plaquettes en Wallonie (ordre de grandeur ; janvier 2006)

Livraison	Prix TVAC (€ / map)	Masse volumique apparente (kg / map)	PCI ( HR ~30%)		Prix TVAC (€ / 1000 kWh)
			MJ / kg	KWh / kg	
Départ usine	17 à 18	250	12	3,3	20,35 à 21,62
Livré rayon proche	19 à 22	250	12	3,3	22,90 à 26,71

Le marché énergétique des plaquettes étant naissant en Wallonie, les prix mentionnés dans le tableau 3 doivent être considérés comme des ordres de grandeur. Ces prix représentent les prix actuels du marché qui sont négociés au cas par cas. Il est tout à fait possible d'obtenir des prix de revient inférieurs grâce à des opportunités d'approvisionnement en bois ou de logistique de broyage, de stockage et de séchage à moindre coût (cas des entrepreneurs, par exemple). Les plaquettes de bois vendues pour une utilisation énergétique relèvent d'un taux de TVA de 6%.

## Stockage

Vu leur foisonnement important et leur faible contenu énergétique par unité de volume, le stockage de plaquettes demande une place importante. Pour les particuliers, des silos de stockage peuvent être aménagés dans une cave, un garage ou un hangar existant (typiquement dans les exploitations agricoles). La construction d'un nouveau hangar est une solution assez coûteuse qui n'est en conséquence généralement pas appliquée chez les particuliers. Ces derniers valorisent le plus souvent un espace disponible au niveau de l'habitation ou de ses annexes. La taille du silo dépend de la place disponible, de l'autonomie désirée en combustible et des possibilités d'approvisionnement.

### 2.3 Les granulés

Les granulés de bois, aussi appelés pellets, sont faits de sciure de bois compressée. Pour une meilleure agglomération, la sciure doit être préalablement séchée jusqu'à une teneur en eau inférieure à 10 %. Cette très faible humidité confère aux pellets un PCI très élevé, de l'ordre de 17 MJ/kg (4,7 kWh/kg).

Le prix des pellets dépend :

- du conditionnement (sacs, big bags ou vrac) et de la quantité livrée,
- de la distance de livraison,
- de la qualité des granulés (notamment en terme de durabilité).

A quantité et distance de livraison égales, on observe sur le marché wallon des différences entre les prix de différents fournisseurs.

Tableau 4 – Estimation du prix des granulés en Wallonie (ordre de grandeur ; janvier 2006)

Conditionnement	Quantité livrée	Livraison	Prix combustible (€ TVAC / tonne)	Prix entrée chaudière (€ TVAC / 1000 kWh)	Rendement installation (%)	Prix sortie chaudière (€ TVAC / 1000 kWh)
Sac	< 1 tonne	Départ usine	196 à 276	41,51 à 58,45	75 à 90	46,12 à 77,93
Sac	< 1 tonne	Livré rayon proche	207 à 286	43,84 à 60,56	75 à 90	48,71 à 80,75
Vrac	3 - 4 tonnes	Livré rayon proche	165 à 207	34,94 à 43,84	75 à 90	38,82 à 58,45

## Stockage

Les pellets constituent la forme de combustible-bois la plus dense. Ils prennent peu de place pour un même contenu énergétique. Un lieu de stockage pour les granulés doit toutefois être prévu. Le plus souvent, un espace de la cave est muré et réservé à cet effet. Il existe également des silos démontables en acier ou en tissu installés dans la cave ainsi que des silos enterrés en polymère. En général, un espace de moins de 8 m<sup>3</sup> suffit à assurer l'entièreté d'une saison de chauffe d'une maison familiale normalement isolée.

### 2.4 Les céréales

Les céréales ont un contenu énergétique important qu'il est possible de valoriser pour le chauffage domestique. Avec l'augmentation du prix des combustibles fossiles traditionnels que sont le gaz et le mazout, ce mode de chauffage connaît un essor considérable en milieu rural. Bien que les technologies actuelles permettent d'utiliser les grains et/ou les pailles, généralement seuls les grains sont utilisés. Remarquons cependant que le chauffage aux céréales fait parfois l'objet d'un débat éthique que nous n'aborderons pas ici.

Le froment d'hiver, l'escourgeon et le maïs sont principalement utilisés en Wallonie. A humidité égale, et quels que soient le type et la variété, les céréales ont un PCI similaire. La plupart des technologies présentes sur le marché wallon requièrent l'utilisation de grains dont l'humidité ne dépasse pas 20%. Nous considérerons un PCI commun à toutes les céréales de 15,12 MJ/kg (4,2 kWh/kg), correspondant à une humidité de 15% (Ref. 4).

Chez les agriculteurs, ce combustible peut être utilisé pour le chauffage du corps de logis et parfois des bâtiments agricoles (poulailler, porcherie). Il arrive également que des céréales soient vendues au voisinage proche des exploitations. Dans le cadre d'une utilisation énergétique, elles ne sont par contre que rarement transportées sur de longues distances.

**Tableau 5 - Prix du marché wallon de certaines céréales - grains (ordre de grandeur ; avril – décembre 2005)**

Céréales	Prix HTVA (Ref. 5)	PCI (HR ~15 %)		Prix HTVA
	(€ / tonne)	MJ/kg	KWh/kg	(€ / 1000 kWh)
Froment	88,07	15,12	4,2	20,97
Triticale	84,50	15,12	4,2	20,12
Avoine	83,50	15,12	4,2	19,88
Escourgeon	94,29	15,12	4,2	22,45
Maïs	108,50	15,12	4,2	25,83

Les prix mentionnés dans ce tableau sont des prix du marché, livrés à l'organisme stockeur. Il faut donc les considérer comme un ordre de grandeur car, dans le cas d'une autoconsommation des grains par les agriculteurs, le prix de revient remplace alors celui du marché (pas de transport, pas de marge bénéficiaire dans le cas de l'autoconsommation). Les céréales étant principalement utilisées directement par les agriculteurs, le tableau 5 ne mentionne que les prix hors TVA.

### Stockage

Comme pour les pellets, les céréales sont relativement peu foisonnantes et ne prennent que peu de place de stockage par unité énergétique. Les grains sont stockés dans les équipements de l'exploitation agricole ou de la même manière que les pellets.

## 2.5 Comparaison avec le gaz et le mazout

A titre de comparaison, le tableau suivant présente les prix du mazout (gasoil de chauffage) et du gaz (respectivement Ref. 13 [janv. 2006] et Ref. 14 [nov. 2005]). Le prix du mazout s'entend livraison comprise et correspond au combustible « standard », et non au gasoil « extra ». Ces prix sont ceux destinés à l'usage domestique, sans tarification spéciale (chauffage collectif, généralisé, etc.). Ces combustibles sont vendus avec un taux de TVA de 21%.

**Tableau 6 - Prix du gaz naturel et du gasoil pour le chauffage domestique (nov. 2005 – janv. 2006)**

	Quantité livrée	Prix TVAC	PCI		Prix TVAC (€ / 1000 kWh)
Gasoil chauffage	< 2.000 litres	0,573 €/litre	36,5 MJ/litre	10,1 kWh/litre	56,52
Gasoil chauffage	> 2.000 litres	0,551 €/litre	36,5 MJ/litre	10,1 kWh/litre	54,35
Gaz naturel	< 4.298 kWh/an		37,0 MJ/m <sup>3</sup> (N)	10,3 kWh/m <sup>3</sup> (N)	65,57
Gaz naturel	> 4.298 kWh/an		37,0 MJ/m <sup>3</sup> (N)	10,3 kWh/ m <sup>3</sup> (N)	53,84

## 3 Les notions de puissance et de rendement

### 3.1 Généralités

Les notions de puissance et de rendement font parfois l'objet d'une confusion.

La puissance d'un appareil de chauffage correspond à sa capacité à fournir une certaine quantité d'énergie en un temps donné. Pour les installations de chauffage, la puissance est exprimée en kilowatt (kW). Les appareils de chauffage individuels ont une capacité de l'ordre de 7-12 kW tandis que les puissances des chaudières domestiques vont généralement de 12 à 150 kW, voire plus dans le cas de chauffages collectifs. La capacité d'un appareil de chauffage au bois dépend principalement des dimensions du foyer.

Indépendamment de sa puissance, le rendement d'un appareil de chauffage au bois est l'efficacité avec laquelle il produit de l'énergie à partir d'un combustible et l'efficacité avec laquelle cette énergie est utilisée pour chauffer les bâtiments.

Il est essentiel de prendre en compte ces deux types d'efficacité car, par exemple, dans le cas des feux ouverts, la très grande majorité de la chaleur produite est évacuée directement par la cheminée et ne sert pas au réchauffement de la pièce.

En fonction de la manière avec laquelle ils sont mesurés, la puissance et le rendement peuvent varier fortement. Pour cela, des normes européennes imposent des méthodes et des conditions standard de mesure.

### 3.2 Pour les appareils individuels

La norme européenne<sup>4</sup> EN 13240 « Poêles à combustible solide – Exigences et méthodes d'essai », définit des exigences en terme :

- de conception, de fabrication et d'assemblage : matériaux, etc. ;
- de sécurité : tirage, échauffement des éléments, etc. ;
- d'instruction de marquage : documentation à fournir, etc. ;
- du fonctionnement : émissions, rendement, etc.

Du point de vue environnemental, la norme définit des seuils minimaux d'émissions. Elle fixe avec précision la méthode et les conditions avec lesquelles le rendement doit être mesuré et impose aux appareils de respecter les valeurs limites pour les classes de rendement décrites ci-dessous.

Tableau 7- Valeurs limites de rendement des poêles à bois (Ref. 7)

Classe	Exigences pour les appareils (portes fermées) Valeurs limites de rendement (%)
Classe 1	≥ 70
Classe 2	≥ 60 et < 70
Classe 3	≥ 50 et < 60

Par exemple, si un appareil a un rendement de 53%, il appartient à la classe 3 et respecte la norme. Mais ce rendement reste extrêmement faible. Le respect de la norme n'est donc pas un gage strict de performance. Les fabricants ne sont par ailleurs pas obligés de la respecter, c'est donc au consommateur de vérifier auprès du revendeur.

<sup>4</sup> Les normes sont éditées et distribuées en Belgique par l'Institut belge de Normalisation (IBN) ; Avenue de la Brabançonne, 29 à 1000 Bruxelles. Tél.: 02 / 738 01 11, [info@ibn.be](mailto:info@ibn.be) ; <http://www.ibn.be>

Pour qu'un poêle à bois ait un bon rendement, il faut avant tout utiliser du bois sec ayant séché au moins deux ans. Il existe ensuite de nombreuses améliorations techniques permettant d'augmenter considérablement les performances de ces appareils :

- l'appareil est étanche (joints, etc.) ;
- il comporte au moins deux entrées d'air distinctes dans le foyer, une au niveau de la grille (air primaire) et l'autre au-dessus du foyer (air secondaire) ;
- des chicanes permettent aux gaz de combustion de brûler complètement et de transférer le maximum de chaleur à l'appareil et à l'habitation avant d'être évacués par la cheminée.

Les rendements des poêles performants peuvent atteindre 80%, voire 95 % dans le cas des poêles de masse (cfr. plus loin).

### 3.3 Pour les chaudières

La norme européenne EN 303-5 (Ref. 8) traite des chaudières à combustibles solides. Outre les combustibles du type charbon, elle concerne les chaudières fonctionnant aux bûches, aux plaquettes et aux pellets. Elle définit également les exigences concernant la conception, la fabrication, l'assemblage, la sécurité, les instructions de marquage et le fonctionnement de l'appareil. Trois classes sont de même définies avec des seuils de rendements minimaux exigés, dépendant de la puissance utile. Il s'agit une fois encore d'exigences minimales, loin des performances que peuvent atteindre les nouvelles technologies de chaudières au bois.

Après enquête auprès de revendeurs wallons de chaudières et d'après la littérature (Ref. 9 & 10), nous pouvons considérer les rendements moyens suivants :

Tableau 8 - Rendement moyen des chaudières bois

	Rendement moyen
Chaudière à bûches	70 à 85%
Chaudière à pellets	75 à 90%
Chaudière à plaquettes	75 à 85%

Pour les chaudières à bûches, seules les installations à combustion inverse sont prises en compte.

Les normes allemandes (DIN) et autrichiennes (OENORM) ont des exigences plus strictes en termes de rendement. A côté des normes, les labels de qualités (comme le label flamme verte en France, <http://www.flammeverte.com>) imposent des rendements supérieurs à la norme européenne. Les labels de qualité sont suivis par les constructeurs sur base volontaire et non obligatoire.

## 4 Les installations de chauffage au bois

Les installations de chauffage au bois comprennent les appareils individuels, servant à chauffer directement une pièce (ou plusieurs si l'architecture de la maison le permet), et les systèmes de chauffage central. Ces derniers, tout comme les systèmes au mazout ou au gaz, sont constitués d'une chaudière chauffant un premier circuit d'eau chaude, dont la chaleur est communiquée aux différentes pièces de l'habitation au moyen d'échangeurs de chaleur comme les radiateurs, et un deuxième circuit pour l'eau chaude sanitaire, le cas échéant.

### 4.1 Le chauffage individuel au bois

Les appareils de chauffage individuels sont les feux ouverts, les foyers fermés, les inserts et les poêles. Les poêles, de loin les plus performants, fonctionnent traditionnellement avec des bûches.

Le prix des poêles à bûches est très variable et dépend fortement de la qualité et/ou de l'effet de marque (design, etc.) mais relativement peu de la puissance. Pour des poêles de puissance classique (7 – 12 kW), les prix varient de 800 à 6.000 € (Ref. 6). Grossièrement, le marché wallon des poêles à bûches comporte quatre grands types d'appareils :

- les appareils rudimentaires, dits « traditionnels », généralement en fonte. Ces appareils, bon marché, ont le plus souvent des rendements médiocres. Leur prix est généralement compris entre 800 et 1.400 € ;
- les appareils performants, dits « contemporains ». Ces appareils ont des rendements pouvant atteindre 80% mais ils sont plus chers. Leur prix varie généralement de 2.400 à 2.800 € ;
- les poêles dont l'effet de marque et le design en augmentent la valeur mais pas nécessairement au bénéfice du rendement. Leurs prix peuvent grimper jusque 6.000 €;
- les poêles de masse, faits de pierres réfractaires qui emmagasinent la chaleur pour la restituer ensuite à la pièce par rayonnement, sont nettement plus coûteux (10.000 €). Ce prix se justifie par leur très bon rendement (> 85%) et leur faible consommation en combustible.

Nous pouvons retenir un prix moyen de 2.500 € pour un poêle à bûches de qualité et d'une puissance d'environ 12 kW.

Les poêles à pellets possèdent un réservoir à granulés qui doit être rechargé tous les 1 à 3 ou 4 jours en fonction de la demande en chaleur. Ils fonctionnent automatiquement (thermostat) et ont un rendement légèrement plus élevé que les installations fonctionnant aux bûches. En janvier 2006, ValBiom a recensé 12 revendeurs de poêles à granulés en Wallonie.

Ces poêles sont vendus en moyenne à 2.300 € HTVA pour un appareil de 5 kW et à 3.500 € HTVA pour un appareil d'une dizaine de kW. Lorsqu'ils sont utilisés dans un poêle, les granulés sont généralement achetés en sacs. Ces derniers sont stockés dans le garage ou la cave et ne demandent par conséquent aucune infrastructure particulière de stockage.

Tableau 9 - Estimation du coût des poêles à bois (janvier 2006)

	Capacité	Rendement	Coût moyen HTVA		
			Achat	Ramonage	Tubage
Poêle à bûches performants	~ 12 kW	70 - 80 %	2.400 – 2.800 €	60 - 120 €	1.200 - 2.000 €
Poêle de masse		80 - 95 %	6.000 – 12.000 €	60 - 120 €	1.200 - 2.000 €
Poêle à pellets	~ 5 kW	80 - 85 %	2.000 - 2.400 €	60 - 120 €	1.200 - 2.000 €
Poêle à pellets	~ 12 kW	80 - 85 %	3.300 - 3.600 €	60 - 120 €	1.200 - 2.000 €

L'usage d'un poêle à bois implique un à deux ramonages mécaniques du conduit de cheminée par an. Le prix d'un ramonage est estimé à 60 - 70 €. En fonction de la cheminée existante, un tubage est souvent nécessaire. Le coût d'un tubage dans une situation classique est estimé à environ 1.200 – 2.000 € (matériaux et pose).

## 4.2 Le chauffage central au bois

Il existe trois types de chaudières bois, chacune étant adaptée à un combustible particulier.

Les chaudières à bûches sont à chargement manuel : l'utilisateur doit recharger le foyer en bûches au moins deux fois par jour s'il veut maintenir une température constante. Ces chaudières sont les moins chères et ont fait l'objet ces dernières années de progrès techniques considérables (combustion inverse). Ce type d'installation est particulièrement indiqué pour les personnes qui ont la possibilité d'obtenir des bûches à prix intéressant et, surtout, qui ne sont pas découragées par la manutention quotidienne du combustible. Un espace non négligeable est nécessaire pour le stockage des bûches (à l'extérieur). Il faut donc disposer d'un jardin ou d'une cour.

Les chaudières à granulés sont entièrement automatiques. Les granulés sont stockés dans un silo aménagé dans la cave. Des silos enterrés existent également. Le silo doit être rempli une fois par an, ou plus si les besoins en chaleur sont importants face au volume de stockage. Le combustible est extrait automatiquement en fonction des besoins à l'aide d'une vis sans fin. Ces chaudières offrent le plus grand confort en terme d'utilisation et de stockage du combustible. Pour l'utilisateur, il n'y a pas de différence de fonctionnement entre une chaudière aux pellets et une installation au mazout. Ces chaudières sont donc adaptées à toutes les situations mais leur prix est plus élevé.

Les chaudières à plaquettes sont également automatiques. Cependant, le foisonnement du combustible implique la disposition d'un volume de stockage important. Ces installations sont donc adaptées aux personnes possédant un espace abrité disponible aux abords de l'habitation (hangar, etc.) et qui peuvent se procurer les plaquettes à un prix intéressant. Certains fabricants proposent des chaudières pellets/plaquettes où seule la vitesse de la vis d'alimentation doit être modifiée pour passer d'un combustible à l'autre.

Tableau 10 - Estimation du prix des chaudières bois en Wallonie (janvier 2006)<sup>5</sup>

	Chaudière avec brûleur (HTVA, livrée sans installation)	Puissance	Rendement
Chaudière bûches	1.500 – 3.000 €	~ 20 kW	70 - 85 %
	3.000 – 7.000 €	~ 40 kW	70 - 85 %
Chaudière pellets	5.000 <sup>6</sup> – 8.000 €	~ 20 kW	75 - 90 %
	10.000 – 11.000 €	~ 40 kW	75 - 90 %
Chaudière plaquettes	9.000 – 12.000 €	~ 20 kW	75 - 85 %
	12.000 – 17.000 €	~ 40 kW	75 - 85 %
Chaudière mazout	2.100 – 2.400 €	~ 20 kW	93 - 97 %
	2.700 – 2.800 €	~ 40 kW	93 - 97 %
Chaudière gaz à condensation	2.000 – 2.200 €	~ 20 kW	105 - 107 %
	2.300 – 2.500 €	~ 40 kW	105 - 107 %

<sup>5</sup> Ces prix incluent la chaudière avec ses accessoires (brûleur, tableau de commande, vis d'alimentation), qui peuvent en outre être achetés séparément. Les chaudières à granulés sont également parfois vendues avec un petit réservoir de stockage des pellets attenant (jusque 500 kg).

<sup>6</sup> Ces chaudières à pellets aux environs de 5.000 € (HTVA livrées non installées) ont fait leur apparition très récemment sur le marché wallon.

Tout comme les installations au gaz ou au mazout, les installations au bois ont recours à un préparateur d'eau chaude sanitaire (ECS). Ce dernier est un peu plus cher pour les installations au bois. Les chaudières au bois s'insèrent dans un circuit hydraulique identique à ceux des chaudières classiques au mazout ou au gaz. Un tubage est presque toujours nécessaire pour les chaudières bois et mazout, sauf dans le cas de boisseaux de bonne qualité, tout comme dans le cas des chaudières gaz à condensation.

Les prix d'achat du tableau 10 peuvent être diminués grâce à l'octroi de primes par la Région wallonne<sup>7</sup> (600 € pour les chaudières au gaz à condensation et maximum 1500 € pour les chaudières automatiques à la biomasse) ou de déductions fiscales au niveau fédéral<sup>8</sup>. D'après les chauffagistes contactés, le temps et les coûts d'installation des chaudières sont similaires pour des chaudières au bois, au mazout ou au gaz.

Tableau 11 – Estimations moyennes des coûts annexes (janvier 2006)

	Placement	Entretien	Boiler / ballon accumulateur	Citerne / silo de stockage
Chaudière bûches	~ 750 €	~150 - 200 €	700 € à 2.400 €	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pas d'aménagement nécessaire</li> </ul>
Chaudière pellets	~ 750 €	~150 - 200 €		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aménagement de la cave : entre 1.000 et 2.000 € (murs, plancher incliné)</li> <li>▪ Silo souple : 1.100 à 1.600 €</li> <li>▪ Silo enterré : 1.600 à 2.400 €</li> </ul>
Chaudière plaquettes	~ 750 €	~150 - 200 €		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aménagement hangar : 1.500 – 2.000 €</li> </ul>
Chaudière mazout	~ 750 €	~150 - 200 €	800 à 1.500 €	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Citerne au sol : 800 – 1.000 €</li> <li>▪ Citerne enterrée : 1.300 – 1.500 €</li> </ul>
Chaudière gaz (gaz naturel)	~ 750 €	~120 - 150 €	800 à 1.500 €	Pas de coûts de stockage mais des coûts de raccordement

Les installations au bois et au mazout doivent obligatoirement faire l'objet d'un entretien annuel comprenant le réglage du brûleur par un chauffagiste et un ramonage. Le ramonage seul est estimé à 50-55 € pour les chaudières au mazout et 50-60 € pour les chaudières au bois. Même si cette obligation ne concerne pas les chaudières au gaz, certains constructeurs recommandent également un entretien annuel pour ces dernières. D'après les chauffagistes contactés, les coûts d'un entretien complet des chaudières au mazout et au bois sont similaires tandis que ceux des chaudières au gaz sont légèrement plus faibles.

En ce qui concerne les chaudières aux plaquettes, nous n'avons considéré que le cas où le particulier peut aménager un espace existant. Le cas de la construction entière d'un nouveau silo n'est pas adapté au contexte des particuliers.

#### 4.3 Le coût des combustibles-bois « sortie chaudière »

Les prix des combustibles présentés au chapitre 2 sont exprimés en termes d'euros par 1000 kWh entrant dans la chaudière (prix « entrée chaudière »). Or nous avons vu qu'il existe des différences de rendement parfois importantes entre les différentes technologies de chaudières. Pour pouvoir comparer le prix des combustibles sur une même base, il faut y intégrer le rendement de l'installation,

<sup>7</sup> Renseignements auprès des Guichets de l'Energie ou sur le site portail énergie de la Région wallonne : <http://energie.wallonie.be>

<sup>8</sup> Réductions d'impôts pour investissements économiseurs d'énergie dans les habitations. Service Public Fédéral Economie, PME, Classes moyennes et Energie. <http://mineco.fgov.be>

afin d'obtenir le prix du combustible pour une même unité de chaleur produite et utilisée pour chauffer l'habitation. On parle alors de prix « sortie chaudière ».

Tableau 12 - Estimation des prix sortie chaudière pour les bûches (janvier 2006)

Conditionnement des bûches	Prix du combustible	Prix entrée chaudière	Rendement installation (%)	Prix sortie chaudière
	(€ / stère)	(€ / 1000 kWh)		(€ / 1000 kWh)
Sur pied	5	3,98 à 4,88	70 à 85	4,68 à 6,97
	12	5,53 à 7,34	70 à 85	6,50 à 10,48
	12	6,26 à 9,25	70 à 85	7,36 à 13,22
coupé 1 m, frais, bord de route	30	23,88 à 29,28	70 à 85	28,10 à 41,82
	40	18,42 à 24,46	70 à 85	21,68 à 34,94
	40	20,86 à 30,84	70 à 85	24,55 à 44,06
coupé 33 cm, sec 2 ans, "sortie usine"	60	47,77 à 58,55	70 à 85	56,20 à 83,65
	70	32,24 à 42,81	70 à 85	37,93 à 61,15
	70	36,51 à 53,97	70 à 85	42,95 à 77,10
coupé 33 cm, sec 2 ans, livré	65	51,75 à 63,43	70 à 85	60,88 à 90,62
	100	46,06 à 61,15	70 à 85	54,19 à 87,36
	100	52,16 à 77,10	70 à 85	61,36 à 110,15

Les tableaux 12 à 15 donnent des estimations des prix « sortie chaudière » pour les différents combustibles bois, ainsi que pour le mazout et le gaz naturel. Il s'agit à chaque fois des chiffres extrêmes, c'est-à-dire là où le combustible le meilleur marché est utilisé dans l'installation la plus rentable et là où le combustible le plus cher est brûlé dans une chaudière peu performante. De cette manière, les gammes de prix données dans les tableaux suivants prennent en compte à chaque fois la situation la plus et la moins favorable.

Tableau 13 - Estimation des prix sortie chaudière pour les granulés (janvier 2006)

Conditionnement	Quantité livrée	Livraison	Prix combustible (€ TVAC / tonne)	Prix entrée chaudière (€ TVAC / 1000 kWh)	Rendement installation (%)	Prix sortie chaudière (€ TVAC / 1000 kWh)
Sac	< 1 tonne	Départ usine	196 à 276	41,51 à 58,45	75 à 90	46,12 à 77,93
Sac	< 1 tonne	Livré rayon proche	207 à 286	43,84 à 60,56	75 à 90	48,71 à 80,75
Vrac	3 - 6 tonnes	Livré rayon proche	165 à 207	34,94 à 43,84	75 à 90	38,82 à 58,45

Tableau 14 - Estimation des prix sortie chaudière pour les plaquettes (janvier 2006)

Distance de livraison	Prix du combustible (€ TVAC / m <sup>3</sup> )	Prix entrée chaudière (€ TVAC / 1000 kWh)	Rendement installation (%)	Prix sortie chaudière (€ TVAC / 1000 kWh)
Départ usine	17 à 18	20,35 à 21,62	75 à 85	23,94 à 28,83
Livré rayon proche	19 à 22	22,90 à 26,71	75 à 85	26,94 à 35,62

Tableau 15 - Estimation des prix sortie chaudière pour le mazout et le gaz (condensation) (janvier 2006)

	Quantité livrée	Prix entrée chaudière (€ TVAC / 1000 kWh)	Rendement installation (%)	Prix sortie chaudière (€ TVAC / 1000 kWh)
Gasoil chauffage	< 2.000 litres	56,52	93 à 97	58,26 à 60,77
Gasoil chauffage	> 2.000 litres	54,35	93 à 97	56,03 à 58,44
Gaz naturel	< 4.298 kWh/an	65,57	105 à 107 <sup>9</sup>	61,28 à 62,45
Gaz naturel	> 4.298 kWh/an	53,84	105 à 107	50,32 à 51,28

Des tableaux 12 à 15, nous pouvons conclure que, même en tenant compte des rendements plus faibles des chaudières au bois, le prix au kWh des combustibles-bois est généralement intéressant par rapport au mazout. Cependant le prix de la chaudière et de ses périphériques est plus élevé. Il apparaît donc que **l'utilisation du bois, en remplacement ou non du mazout, est d'autant plus intéressante que la consommation en combustible est importante.**

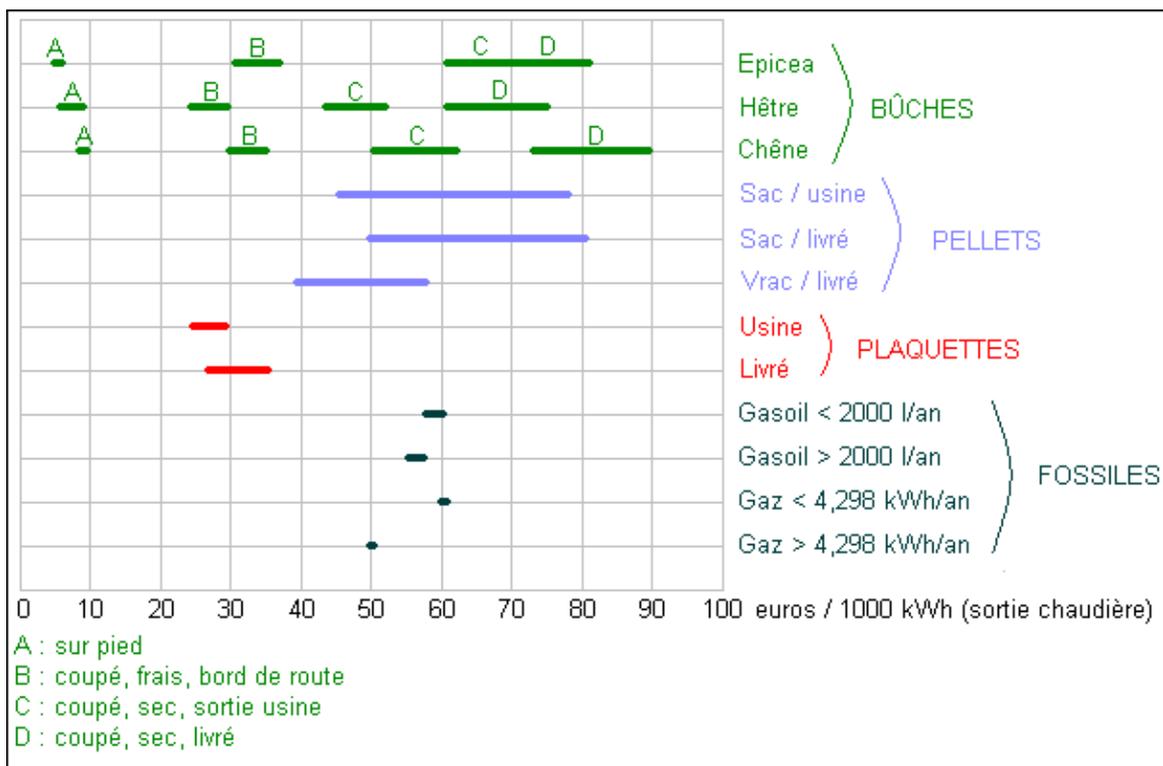
Découlant des tableaux 12 à 15 ci-dessus, la figure 2 illustre la grande variabilité des prix des combustibles biomasse par rapport aux combustibles fossiles.

Ces importantes différences de prix pour un même combustible expliquent à quel point il est difficile d'évaluer la rentabilité d'une installation à la biomasse. De nombreux facteurs entrent en effet en ligne de compte dans la décision de l'investisseur : situation géographique, besoins énergétiques, opportunités d'achat de combustibles, capacité de stockage, choix du confort ou volonté de mettre la main à la pâte, ...

Ajoutons que ce marché en plein développement ne bénéficie pas pour le moment d'une cotation en bourse qui permettrait une uniformisation de ses prix, comme dans le cas des combustibles fossiles.

Figure 2 – Estimation du prix des combustibles en fonction du rendement de l'installation, du conditionnement et du fournisseur (janvier 2006)

<sup>9</sup> Chaudières à condensation



## 5 Exemples d'application

Dans ce chapitre, nous allons estimer le coût des systèmes de chauffage central au bois et au mazout pour différents cas de consommation annuelle. Les Guichets de l'Énergie ainsi que les logiciels Energie+ et Biopre II peuvent aider les particuliers dans l'estimation des besoins en chaleur et de la puissance à installer. Il est possible de commander ces logiciels à partir du site portail énergie de la Région wallonne.

Cette estimation de coût a été obtenue grâce à une simulation prenant en compte :

- le prix d'achat de la chaudière ;
- le prix d'achat de la citerne à mazout ou du silo de stockage des pellets ou des plaquettes ;
- le coût de placement de l'installation ;
- le prix du combustible (selon les prix actuels, sans hypothèses sur l'avenir) ;
- le prix de l'entretien annuel de l'installation.

Cette simulation nous permet d'évaluer les temps de retour sur investissement et de faire la comparaison entre les différents systèmes de chauffage: mazout ou biomasse.

Pour y parvenir, les hypothèses suivantes ont été posées :

- Prime de 1.500 € à l'achat de chaudières automatiques pellets et plaquettes ;
- La simulation n'inclut pas les réductions d'impôts octroyées aux investissements "économiseurs d'énergie";
- Coûts d'entretien annuels équivalents pour le bois et le mazout de 175 € ;
- Le tubage de la cheminée n'est pas pris en compte. S'il est nécessaire pour une installation mazout, il le sera vraisemblablement aussi pour une chaudière bois. Le coût est similaire ;
- Deux situations extrêmes ont été choisies pour les chaudières aux pellets :
  - « **Pellets 1** » : chaudière de 8.000 € (moins la prime de 1.500 €), correspondant au haut de gamme, tout confort, aucune manutention nécessaire (équivalente de ce point de vue à une chaudière mazout) ;
  - « **Pellets 2** » : chaudière de 5.500 € (moins la prime de 1.500 €), correspondant aux petits prix récents, vendue avec un réservoir de stockage des granulés assurant à

l'installation une autonomie de 15 jours, grâce à une vis sans fin. Cette situation implique donc que l'utilisateur remplisse lui-même le bac à l'aide de sacs de 15 kg mais évite aussi la construction d'un silo séparé. La livraison en vrac dans ce cas est exclue sauf si l'utilisateur possède déjà une cave ou un hangar bien isolé(e) contre l'humidité. Remarquons cependant que le prix intéressant du vrac équivaut à celui de la livraison de sacs par palettes de 900 kg (ces sacs étanches ne craignent pas l'humidité). Un approvisionnement annuel (4-6 tonnes) est donc possible à des prix concurrentiels dans ce cas également.

Deux exemples de consommation annuelle ont en outre été envisagés :

**Cas 1 : consommation annuelle équivalente à 2.000 litres de mazout, soit 20.200 kWh/an (cas d'un bâtiment d'une surface chauffée de 100 m<sup>2</sup>, normalement isolée)**

Hypothèses :

- La citerne de mazout (citerne apparente) coûte environ 800 €, l'aménagement d'un silo pour les pellets 1.500 € et celui d'un silo pour plaquettes 2.000 € ;
- Le prix pour le préparateur d'eau chaude sanitaire (ECS) pour l'installation au mazout et celles à la biomasse est de 1.000 € et 1.500 €, respectivement.

**Cas 2 : consommation annuelle équivalente à 4.000 litres de mazout, soit 40.400 kWh/an (cas d'un bâtiment d'une surface chauffée de 200 m<sup>2</sup>, normalement isolée)**

Hypothèses :

- La citerne de mazout (citerne apparente) coûte 1.000 €, l'aménagement d'un silo pour les pellets 2.000 € et celui d'un silo pour plaquettes 2 500 € ;
- Le prix pour le préparateur d'eau chaude sanitaire pour l'installation au mazout et celles à la biomasse est de 1.200 € et 1.700 €, respectivement.

Ces hypothèses sont résumées dans le tableau suivant, qui calcule les différences d'investissements entre les types d'installations biomasse choisies pour la simulation et une installation au mazout.

Tableau 16 – Différences de prix entre une installation au mazout et des installations à la biomasse

<b>Cas 1 : consommation annuelle équivalente à 2000 litres de mazout</b>					
€	Mazout	Pellets 1	Pellets 2	Bûches	Plaquettes
Chaudière	2.250	6.500	3.500	3.000	8.000
Citerne/Silo	800	1.500	0	0	2.000
Préparateur ECS	1.000	1.500	1.500	1.500	1.500
Placement	750	750	750	750	750
<b>Total</b>	<b>4.800</b>	<b>10.250</b>	<b>5.750</b>	<b>5.250</b>	<b>1.2250</b>
<b>Différence avec mazout</b>		<b>5.450</b>	<b>950</b>	<b>450</b>	<b>7450</b>
<b>Cas 2 : consommation annuelle équivalente à 4000 litres de mazout</b>					
€	Mazout	Pellets 1	Pellets 2	Bûches	Plaquettes
Chaudière	2.250	6.500	3.500	3.000	8.000
Citerne/Silo	1.000	2.000	0	0	2.500
Préparateur ECS	1.200	1.700	1.700	1.700	1.700
Placement	750	750	750	750	750
<b>Total</b>	<b>5.200</b>	<b>10.950</b>	<b>5.950</b>	<b>5.450</b>	<b>12.950</b>
<b>Différence avec mazout</b>		<b>5.750</b>	<b>750</b>	<b>250</b>	<b>7.750</b>

Sur base de ces différences de prix, il est possible de calculer les **temps de retour sur investissement**, c'est-à-dire le nombre d'années à partir duquel une installation à la biomasse devient plus économique qu'une chaudière au mazout. Il va sans dire que lorsque ce temps de retour est supérieur à 25 ans ou à l'espérance de vie de l'installation, il n'est pas rentable d'opter pour un système à la biomasse. Par contre, un temps de retour inférieur à 25 ans peut peser lourd dans le choix d'un type d'installation.

Les prix des différents combustibles biomasse ont été fixés à partir des tableaux 12 à 15, en choisissant un coefficient d'empilement moyen pour les bûches, comme cela a été fait pour la figure 2. Afin de rendre compte de l'immense diversité des prix rencontrés actuellement et de ne pas faire de simplification hasardeuse, les valeurs minimales et maximales ont, dans chaque cas, été conservées et ont servi de base pour la simulation. Le tableau ci-dessous résume ces prix.

**Tableau 17 – Estimation des prix minima et maxima utilisés pour la simulation (d'après les tableaux 12 à 15 – janvier 2006)**

Type de combustible biomasse		Prix (€ / 1000 kWh)	
		Minimum	Maximum
Pellets	Sac (< 1 tonne) / départ usine	46,12	77,93
	Sac (< 1 tonne) / livré rayon proche	48,71	80,75
	Vrac (3 - 4 tonnes) / livré rayon proche	38,82	58,45
Bûches	Sur pied	7,10	8,62
	Coupé, frais, bord de route	28,26	34,31
	Coupé, sec, départ usine	52,03	63,18
	Coupé, sec, livré rayon proche	67,21	81,61
Plaquettes	Départ usine	23,94	28,83
	Livré rayon proche	26,94	35,62

A ces variables s'ajoute le facteur "prix du mazout". En effet, ce dernier étant sujet à de nombreuses fluctuations, il nous a paru opportun d'évaluer la rentabilité d'installations biomasse en fonction de différentes valeurs du gasoil de chauffage.

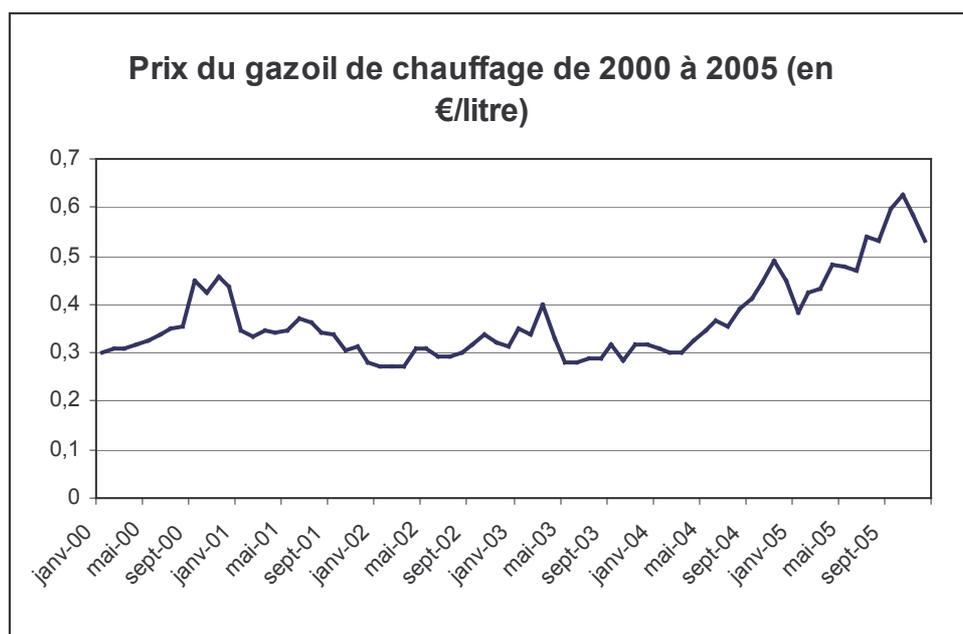
Le tableau suivant convertit ces prix en euros/litre vers des prix en euros/1.000 kWh, en fonction du pouvoir calorifique du gasoil et du rendement des chaudières au mazout. La ligne en grisé représente le cours actuel (janvier 2006) du gasoil de chauffage.

**Tableau 18 – Variations envisagées des prix du mazout**

Prix mazout €/ litre	PCI KWh / litre	Prix mazout €/ 1000 kWh	Rendement %	Prix sortie chaudière €/ 1000 kWh	Moyenne
0,30	10,1	29,70	93 à 97	30,62 à 31,94	31,28
0,35	10,1	34,65	93 à 97	35,73 à 37,26	36,49
0,40	10,1	39,60	93 à 97	40,83 à 42,58	41,71
0,45	10,1	44,55	93 à 97	45,93 à 47,91	46,92
0,50	10,1	49,50	93 à 97	51,04 à 53,23	52,13
0,55	10,1	54,46	93 à 97	56,14 à 58,55	57,35
0,60	10,1	59,41	93 à 97	61,24 à 63,88	62,56
0,65	10,1	64,36	93 à 97	66,35 à 69,20	67,77
0,70	10,1	69,31	93 à 97	71,45 à 74,52	72,99
0,75	10,1	74,26	93 à 97	76,55 à 79,85	78,20
0,80	10,1	79,21	93 à 97	81,66 à 85,17	83,41
0,85	10,1	84,16	93 à 97	86,76 à 90,49	88,63
0,90	10,1	89,11	93 à 97	91,86 à 95,82	93,84
0,95	10,1	94,06	93 à 97	96,97 à 101,14	99,05
1,00	10,1	99,01	93 à 97	102,07 à 106,46	104,27

Afin de justifier notre démarche, rappelons que de 2000 à 2005, les prix du gasoil de chauffage, à l'instar des prix du pétrole, ont varié de 0.27 à 0.64 €/litre (c'est-à-dire plus du simple au double), comme illustré dans la figure suivante. De même, rien que sur l'année 2005, ces prix sont passés de 0.37 jusqu'à 0.64 €/litre.

Figure 3 – Evolution des prix du gazoil de chauffage en Belgique de 2000 à 2005 (source : Service public fédéral Economie, PME, Classes Moyennes et Energie, www.mineco.fgov.be)



Quatre tableaux rassemblent les résultats de notre simulation :

- Tableau 19: **Cas 1**: conso. annuelle = **2.000 l** ; temps **minimum** de retour sur investissement ;
- Tableau 20: **Cas 1**: conso. annuelle = **2.000 l** ; temps **maximum** de retour sur investissement ;
- Tableau 21: **Cas 2**: conso. annuelle = **4.000 l** ; temps **minimum** de retour sur investissement ;
- Tableau 22: **Cas 2**: conso. annuelle = **4.000 l** ; temps **maximum** de retour sur investissement.

Tableau 19 – Cas 1: consommation annuelle = 2000 l ; temps minimum de retour sur investissement

CONSO = 2000 l/an		Temps MINIMUM de retour sur investissement (années)											
		Pellets 1			Pellets 2			Bûches				Plaquettes	
Prix mazout		Sac /usine	Sac /livré	Vrac /livré	Sac /usine	Sac /livré	Vrac /livré	Sur pied	Coupé, frais, route	Coupé, sec, usine	Coupé, sec, livré	Usine Livré	
€/litre	€/1000kWh	46,12	48,71	38,82	46,12	48,71	38,82	7,10	28,26	52,03	67,21	23,94	26,94
0,3	31,28							1	7				
0,35	36,49							1	3				
0,4	41,71						16	1	2			21	25
0,45	46,92						6	1	1			16	18
0,5	52,13			20	8	14	4	0,5	1			13	15
0,55	57,35	24		15	4	5	3	0,4	1	4		11	12
0,6	62,56	16	19	11	3	3	2	0,4	1	2		10	10
0,65	67,77	12	14	9	2	2	2	0,4	1	1		8	9
0,7	72,99	10	11	8	2	2	1	0,3	0,5	1	4	8	8
0,75	78,20	8	9	7	1	2	1	0,3	0,4	1	2	7	7
0,8	83,41	7	8	6	1	1	1	0,3	0,4	1	1	6	7
0,85	88,63	6	7	5	1	1	1	0,3	0,4	1	1	6	6
0,9	93,84	6	6	5	1	1	1	0,3	0,3	1	0,8	5	6
0,95	99,05	5	5	4	1	1	1	0,2	0,3	0,5	0,7	5	5
1	104,27	5	5	4	1	1	1	0,2	0,3	0,4	0,6	5	5

Tableau 20 – Cas 1: consommation annuelle = 2000 l ; temps maximum de retour sur investissement

CONSO = 2000 l/an		Temps MAXIMUM de retour sur investissement (années)											
		Pellets 1			Pellets 2			Bûches				Plaquettes	
Prix mazout		Sac /usine	Sac /livré	Vrac /livré	Sac /usine	Sac /livré	Vrac /livré	Sur pied	Coupé, frais, route	Coupé, sec, usine	Coupé, sec, livré	Usine	Livré
€/litre	€/1000kWh	77,93	80,75	58,4	77,93	80,75	58,4	8,62	34,31	63,18	81,61	28,83	35,62
0,3	31,28							1					
0,35	36,49							1	10				
0,4	41,71							1	3				
0,45	46,92							1	2			20	
0,5	52,13							1	1			16	22
0,55	57,35							0,5	1			13	17
0,6	62,56							0,4	1			11	14
0,65	67,77							0,4	1	5		9	11
0,7	72,99			19				0,3	1	2		8	10
0,75	78,20			14				0,3	1	1		7	9
0,8	83,41			11	9	18	2	0,3	0,5	1	12	7	8
0,85	88,63	25		9	4	6	2	0,3	0,4	1	3	6	7
0,9	93,84	17	21	8	3	4	1	0,3	0,4	1	2	6	6
0,95	99,05	13	15	7	2	3	1	0,2	0,3	1	1	5	6
1	104,27	10	11	6	2	2	1	0,2	0,3	1	1	5	5

Tableau 21 – Cas 2: consommation annuelle = 4000 l ; temps minimum de retour sur investissement

CONSO = 4000 l/an		Temps MINIMUM de retour sur investissement (années)											
		Pellets 1			Pellets 2			Bûches				Plaquettes	
Prix mazout		Sac /usine	Sac /livré	Vrac /livré	Sac /usine	Sac /livré	Vrac /livré	Sur pied	Coupé, frais, route	Coupé, sec, usine	Coupé, sec, livré	Usine	Livré
€/litre	€/1000kWh	46,12	48,71	38,82	46,12	48,71	38,82	7,10	28,26	52,03	67,21	23,94	26,94
0,3	31,28							0,3	2				
0,35	36,49							0,2	0,8			15	20
0,4	41,71						6	0,2	0,5			11	13
0,45	46,92			18	23		2	0,2	0,3			8	10
0,5	52,13	24		11	3	5	1	0,1	0,3			7	8
0,55	57,35	13	16	8	2	2	1	0,1	0,2			6	6
0,6	62,56	9	10	6	1	1	1	0,1	0,2	0,6		5	5
0,65	67,77	7	7	5	1	1	1	0,1	0,2	0,4	11	4	5
0,7	72,99	5	6	4	1	1	1	0,1	0,1	0,3	1	4	4
0,75	78,20	4	5	4	1	1	0,5	0,1	0,1	0,2	0,6	4	4
0,8	83,41	4	4	3	0,5	1	0,4	0,1	0,1	0,2	0,4	3	3
0,85	88,63	3	4	3	0,4	0,5	0,4	0,1	0,1	0,2	0,3	3	3
0,9	93,84	3	3	3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	3	3
0,95	99,05	3	3	2	0,4	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	3	3
1	104,27	2	3	2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	2	2

Tableau 22 – Cas 2: consommation annuelle = 4000 l ; temps maximum de retour sur investissement

CONSO = 4000 l/an		Temps MAXIMUM de retour sur investissement (années)											
		Pellets 1			Pellets 2			Bûches				Plaquettes	
Prix mazout		Sac /usine	Sac /livré	Vrac /livré	Sac /usine	Sac /livré	Vrac /livré	Sur pied	Coupé, frais, route	Coupé, sec, usine	Coupé, sec, livré	Usine	Livré

€/litre	€/1000kWh												
		77,93	80,75	58,4	77,93	80,75	58,4	8,62	34,31	63,18	81,61	28,83	35,62
0,3	31,28						0,3						
0,35	36,49						0,2	3				25	
0,4	41,71						0,2	1				15	
0,45	46,92						0,2	0,5				11	17
0,5	52,13						0,1	0,3				8	12
0,55	57,35						0,1	0,3				7	9
0,6	62,56					5	0,1	0,2				6	7
0,65	67,77			15		2	0,1	0,2	1			5	6
0,7	72,99			10		1	0,1	0,2	1			4	5
0,75	78,20			7		1	0,1	0,1	0,4			4	5
0,8	83,41			6	3	7	1	0,1	0,1	0,3	3	4	4
0,85	88,63	13	18	5	2	2	1	0,1	0,1	0,2	1	3	4
0,9	93,84	9	11	4	1	1	1	0,1	0,1	0,2	1	3	3
0,95	99,05	7	8	4	1	1	0,5	0,1	0,1	0,2	0,4	3	3
1	104,27	5	6	3	1	1	0,4	0,1	0,1	0,2	0,3	3	3

Ces quatre tableaux sont illustrés au moyen de graphiques repris en annexe.

### Interprétations et conclusions

L'interprétation de ces tableaux et graphes donne lieu à une première observation évidente : au vu de la grande variabilité des prix, les différences entre les temps de retour minima et maxima sont très importantes. Il est facile d'imaginer le nombre de possibilités intermédiaires à ces deux extrêmes.

Comme nous l'avons fait remarquer précédemment, la comparaison entre le cas 1 (consommation équivalente à 2000 l de mazout par an) et le cas 2 (4000 l) démontre bien qu'il **est d'autant plus intéressant d'opter pour une installation à la biomasse que les besoins énergétiques sont importants**.

Bien qu'il soit délicat de faire des hypothèses sur l'avenir, il n'est pas utopique de penser que les prix des combustibles-bois 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.

Quant aux prix des combustibles fossiles, leurs fluctuations et leurs fortes hausses passées présentent plus que certainement d'autres envolées dans le futur. Leur dépendance vis-à-vis du contexte socio-politique des pays producteurs ne les placent jamais à l'abri d'une crise, ce qui joue encore en faveur des combustibles renouvelables, dont l'approvisionnement local est plus stable.

En analysant les différents types d'installations choisies pour la simulation, on réalise que les **chaudières aux pellets** sont les plus difficiles à rentabiliser. Ceci s'explique par leurs prix de vente souvent élevés et par le confort d'utilisation qu'elles offrent grâce à leur complète automatisation. Outre les remarques formulées au sujet des prix ci-dessus, il faut distinguer les cas "Pellets 1" et "Pellets 2" qui montrent l'étendue des possibilités au sein de cette technologie. Bien qu'elles n'aient pas encore fait leurs preuves, les chaudières "petit prix", comme celle choisie dans le cas "Pellets 2", sont nouvellement apparues sur notre marché mais sont déjà distribuées par des fabricants wallons. Les chaudières aux pellets sont toutefois les technologies de chauffage au bois les plus confortables.

Dans les deux cas de chaudières à pellets ("Pellets 1" et "Pellets 2"), seule la prime de la Région wallonne a été considérée, bien que des incitants supplémentaires peuvent être octroyés par les autorités provinciales. Par exemple, la Province du Luxembourg accorde une prime pouvant atteindre 750 € pour l'installation d'une chaudière à granulés. Une autre prime est accessible pour les poêles granulés, mais elle est limitée à certains types de revenus. L'octroi d'une telle prime aura pour effet de diminuer significativement le temps de retour sur l'investissement.

Les **chaudières à bûches** sont celles qui apparaissent par contre les plus rentables dans notre simulation. Ceci est dû à leurs prix attractifs et à la possibilité d'obtenir du bois bon marché.

Bien sûr, il ne faut pas perdre de vue qu'elles sont aussi les plus contraignantes puisqu'elles n'offrent pas de possibilité d'automatisation et qu'elles exigent un chargement manuel. Au sujet du prix des bûches, il faut garder à l'esprit qu'à ce jour, les ventes se négocient surtout au cas par cas et qu'il est important de se renseigner auprès de plusieurs revendeurs en essayant éventuellement de faire jouer la concurrence. Notons également que la façon dont sont agencées les bûches dans un stère va énormément jouer sur la quantité totale de bois qu'il contiendra. Il faut donc y être attentif lors de l'achat.

Parmi les prix des bûches, ce sont bien sûr ceux des arbres sur pied qui sont les plus attractifs mais peu de personnes ont l'opportunité et surtout le temps nécessaire pour débiter une telle quantité de bois. Il est bien entendu possible de faire appel à un entrepreneur pour effectuer ce travail, ce qui peut rester rentable si les arbres ont été achetés à très bas prix ou, mieux encore, s'ils appartiennent à l'utilisateur.

Vient ensuite le bois vendu frais. Si l'acheteur a l'espace et le temps disponibles pour le faire sécher 2 ans, cette solution peut être assez avantageuse. Il faut cependant ne pas négliger l'importance de ce temps de séchage, comme l'illustre le tableau ci-dessous. On y observe qu'il faut presque 2 fois plus de bois frais pour égaler le contenu énergétique d'un bois qui sèche depuis 2 ans. Ceci sans compter la perte manifeste de rendement d'une installation carburant au bois frais et les émissions gazeuses nocives dégagées par la combustion incomplète!

**Tableau 23 – Quantité de bois nécessaire pour produire l'équivalent énergétique de 1000 litres de mazout en fonction de l'humidité des bûches**

BOIS	Frais	Sec 1 an	Sec 2 ans
Humidité %	50	30	20
PCI (kWh/kg)	2,2	3,3	3,9
Eq. 1.000 litres mazout (kg /10.000 kWh)	4 545	3 030	2 564

Le bois sec est vendu cet hiver à des prix très élevés mais, comme cela a été expliqué plus tôt, il est probable que ces prix diminuent dans le futur.

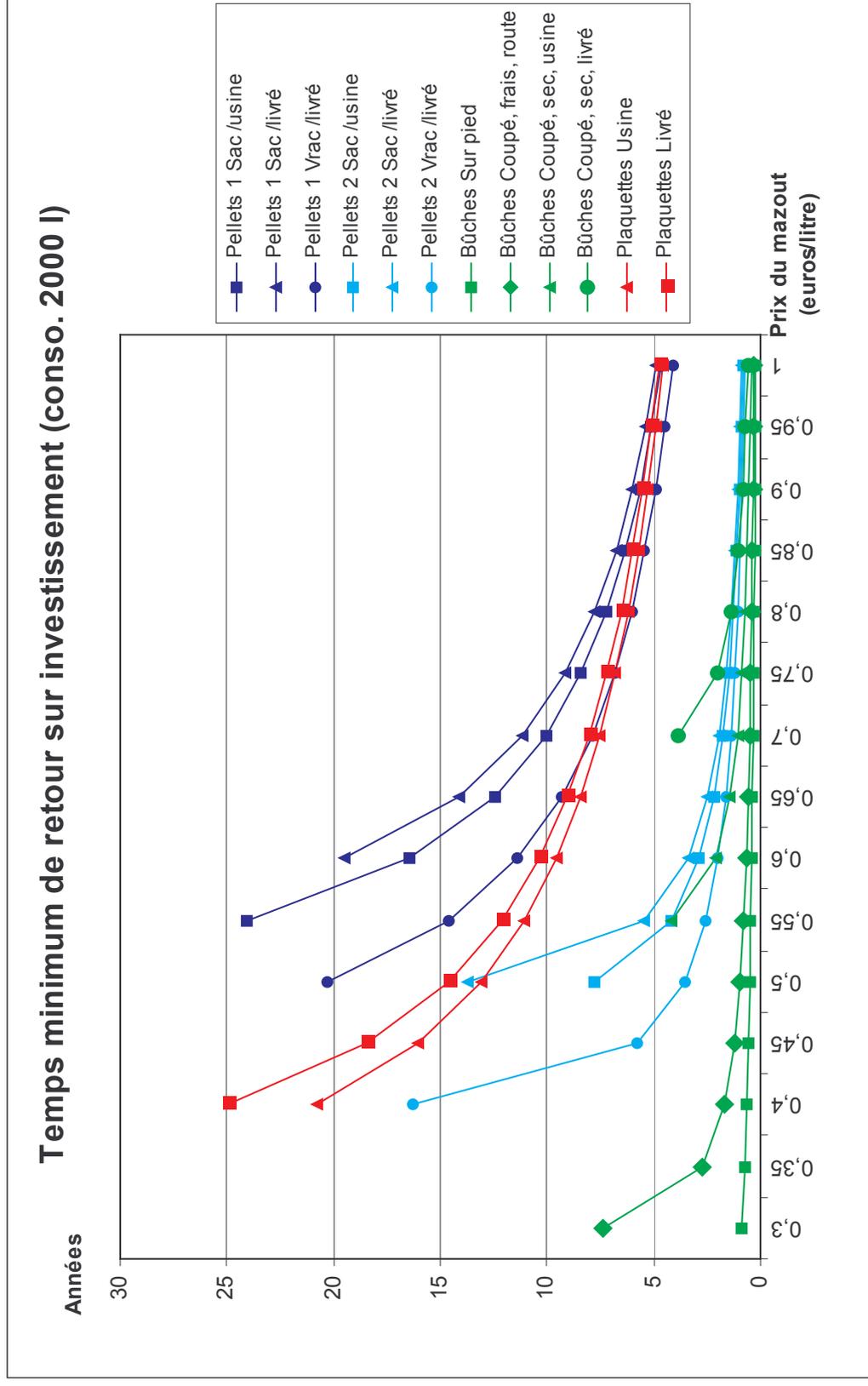
Les **chaudières à plaquettes** occupent quant à elles une place intermédiaire. On constate ainsi que même en considérant les prix les moins attractifs, on obtient des temps de retour sur investissement acceptables au prix actuel du mazout. En effet, on observe que le faible coût de ce combustible compense rapidement la dépense importante que constitue l'achat de l'installation. Souvenons-nous cependant que la contrainte majeure de ce type d'installation vient du considérable espace de stockage qu'il est nécessaire de prévoir pour les plaquettes. A ce titre, notons qu'à contenu énergétique équivalent, les plaquettes occupent un volume presque quatre fois plus important que les pellets. 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.

En conclusion, nous retiendrons de ce document qu'il n'est pas aisé de généraliser la rentabilité des installations de chauffage au bois. Chaque cas se doit d'être analysé en fonction de nombreux critères, tels que :

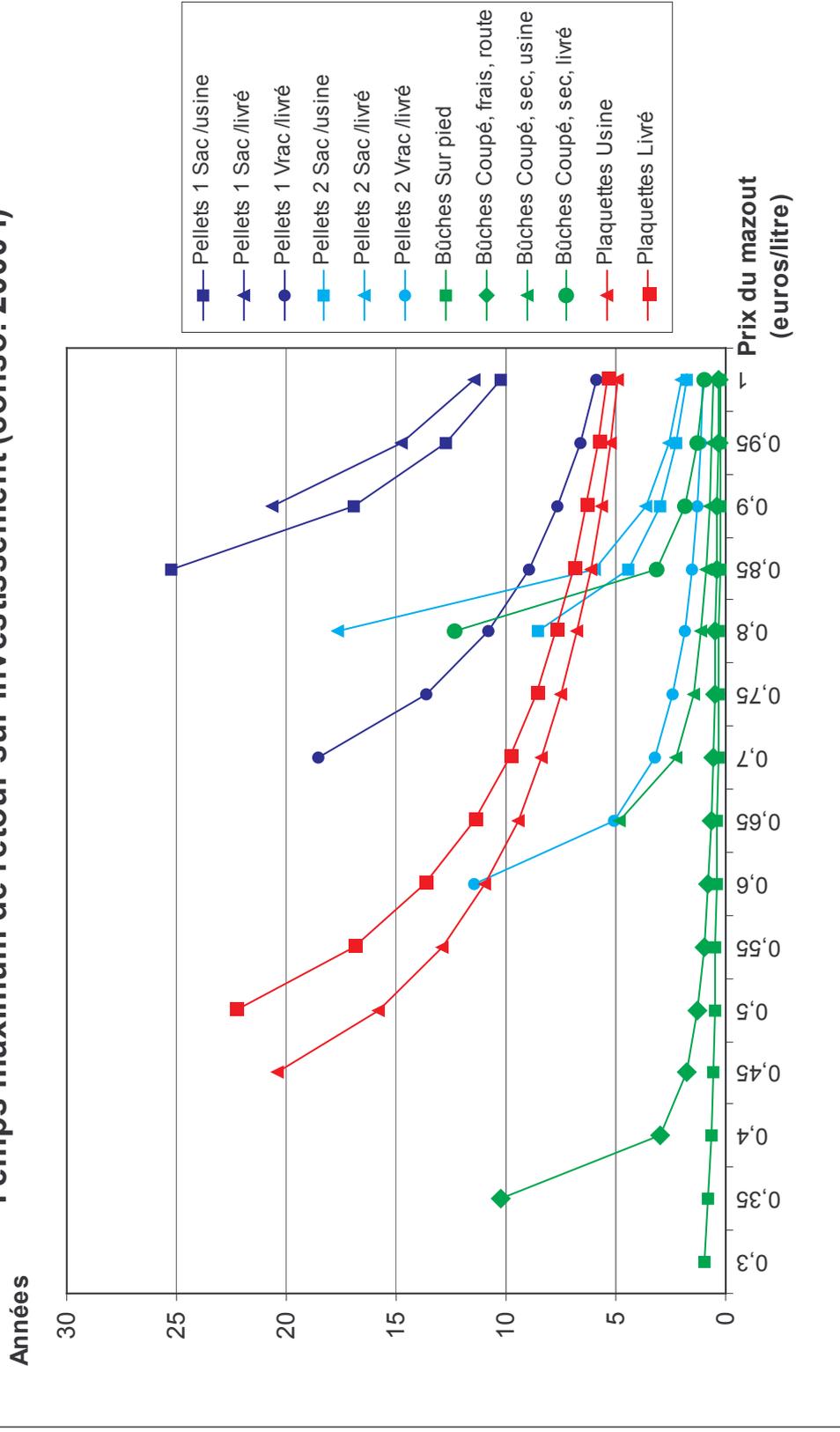
- la situation géographique : proximité d'une région boisée, opportunités d'approvisionnement, ...
- la consommation énergétique des bâtiments à chauffer ;
- le niveau de confort exigé par les utilisateurs : automatisation ou chargement manuel, voire découpe du bois, ...
- l'existence éventuelle de pièces de stockage pour le combustible ;
- voire même, la qualité de négociateur de l'acheteur de bois!

Ce document rassemble néanmoins de nombreuses informations utiles afin de guider l'utilisateur potentiel dans le choix de l'installation de chauffage au bois la mieux adaptée à sa situation.

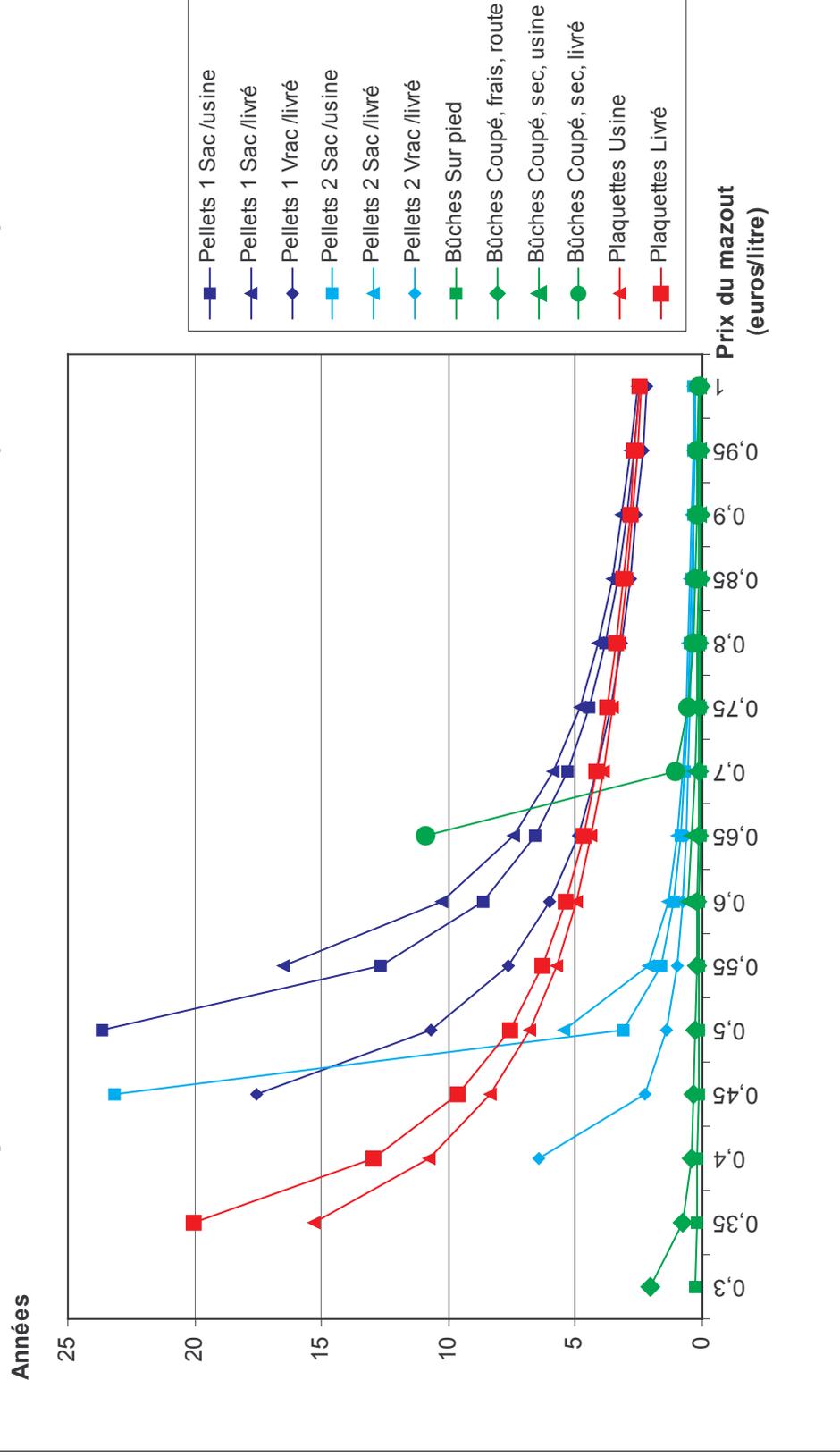
## 6 Annexes :



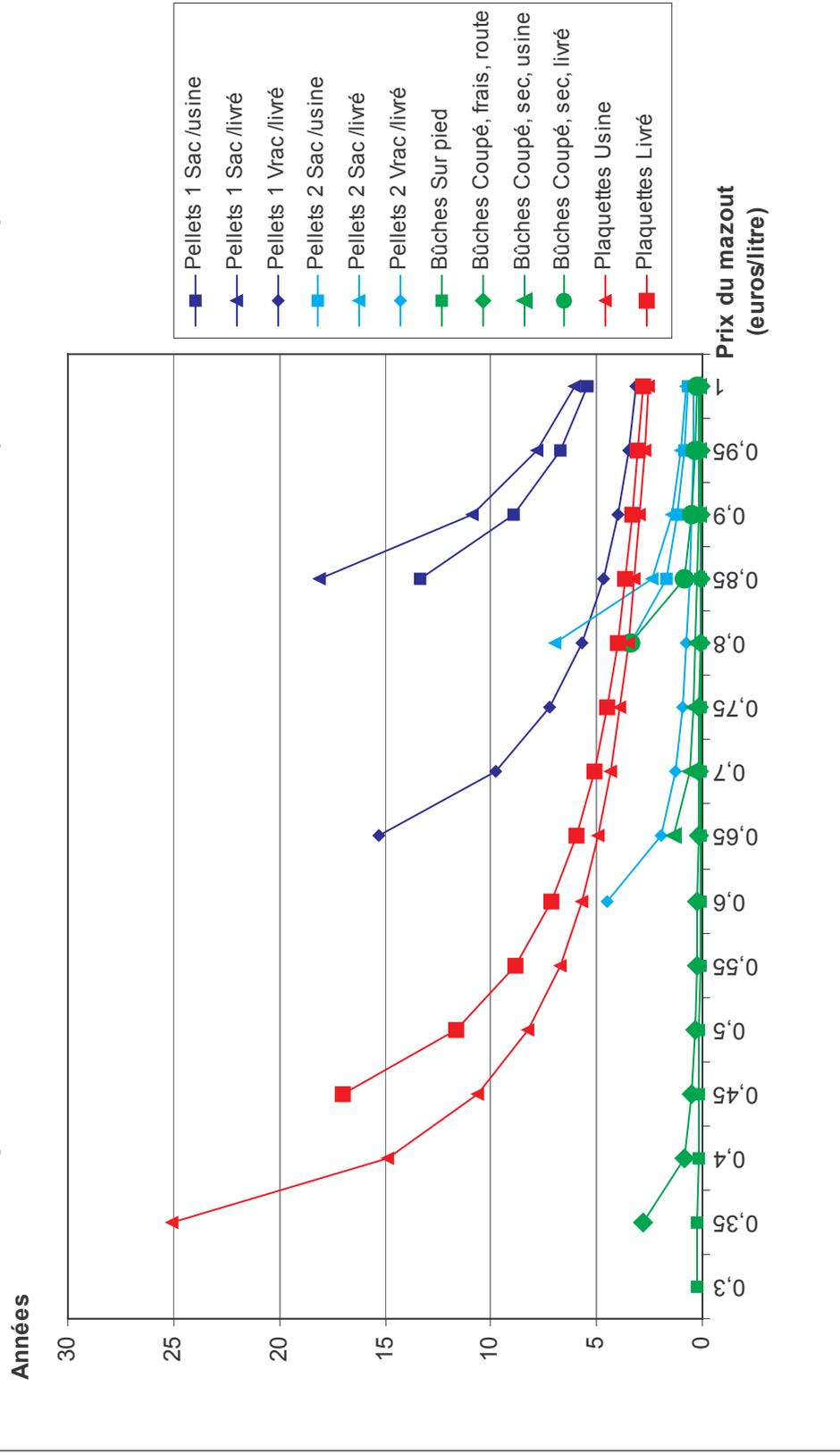
## Temps maximum de retour sur investissement (conso. 2000 l)



## Temps minimum de retour sur investissement (conso. 4000 l)



## Temps maximum de retour sur investissement (conso. 4000 l)





## 7 Références

1. MARCHAL D. 2001. Le pouvoir calorifique du bois. Sylva Belgica 108 (4), 44-45.
2. CARRE J., HEBERT J., LACROSSE L., SCHENKEL Y. 1991. Le chauffage au bois. Note technique du Centre de Recherches agronomiques de l'Etat Gembloux. N° 48 juin 1991. 2<sup>nde</sup> édition. 56p. ISSN 0771-0607.
3. CREHAY R. & MARCHAL D. 2004. Le chauffage au bois pour les particuliers. ValBiom. 85 p. Disponible sur le site portail énergie de la Région wallonne.
4. ARVALIS Institut du Végétal. 2005. Utilisation de la Biomasse pour des Usages Non Alimentaires, Culturelle 2005. 8 p.
5. Moyenne des prix cultures, HTVA et rendu organisme stockeur. Sillon belge N°3173 (15/04/2005), N°3182 (17/06/2005), N°3190 (26/08/2005), N°3192 (09/09/2005), N°3198 (21/10/2005), N°3205 (09/12/2005) et N°3207 (23/12/2005).
6. Enquête réalisée par ValBiom en décembre 2005 – janvier 2006 auprès de revendeurs wallons.
7. Norme européenne EN 13240:2001. Poêles à combustible solide – Exigences et méthodes d'essai. Juin 2001. CEN Comité européen de Normalisation.
8. Norme européenne EN 303-5:1999. Chaudière de chauffage – Partie 5 : Chaudières spéciales pour combustibles solides, à chargement manuel et automatique, puissance utile inférieure ou égale à 300 kW – Définitions, exigences, essais et marquage. Avril 1999. CEN Comité européen de Normalisation.
9. Le bois-énergie. ADEME Midi Pyrénées. <http://www.ademe.fr>
10. Enquête réalisée par ValBiom auprès de revendeurs wallons d'installations de chauffage au bois. Janvier 2006.
11. Technologies pour les particuliers. Institut Technique Européen du Bois Energie. ITEBE. <http://www.itebe.org>
12. Nierat J-M. 1973. Notes sur les divers éléments dont dépend le poids d'un stère de bois. CTBA, Paris. (Cité dans Ref. 2).
13. Service Public Fédéral Economie, PME, Classes moyennes et Energie. Site internet disponible sur [http://www.mineco.fgov.be/homepull\\_fr.htm](http://www.mineco.fgov.be/homepull_fr.htm).
14. Sibelga. Tarif gaz naturel (simulation de la facturation annuelle – Bruxelles). Version 11.2005. (Tarifs à titre indicatif, TVA, cotisation sur l'énergie, cotisation fédérale comprises ; lga = 0.9054 ; lgb = 1.4871).