

Biomasse forestière - prix, coût et exemples concrets



Objectif : Comprendre comment optimiser l'utilisation de la biomasse dans la production d'énergie

Sommaire

1	Introduction	1
2	Prix des biocombustibles forestiers	2
3	Coût de l'énergie	4
3.1	Comparaison de prix en tonne ou en volume	4
3.2	Comparaison de prix de différents combustibles	6
3.3	Comparaison du coût du chauffage avec différentes installations	8
4	Conclusion	13
5	Annexes	14



1 Introduction

Le Prix de la biomasse au marché est fixé en fonction des prix des autres qualités du bois. Généralement, le procès d'obtention de biomasse est produit avec le bois de la plus basse qualité, vu que son origine peut venir de n'importe quelle qualité o essence forestière. Pour gain une rentabilité plus élevée, le procès forestier utilise le bois de mineure qualité. Vu que but final de la qualité du bois n'exige pas aucune propriété exigée dans le bois plus valorisée.

Le prix du bois destiné à biomasse en usine est équivalent à celui du bois à trituration, ça veut dire la moins valorisée. À partir de ce prix, on doit ajouter tous les couts de production et provisionnement, plus le profit commercial et les taxes pour arriver au produit final. Le coût de production varie en fonction de la qualité finale de la biomasse qui dépend au même temps du procès productive. Normalement, la plus haute qualité a le coût de production supérieur. La valeur finale de la biomasse est en fonction de si le bois est certifié ou pas ; vu que le procès de certification est un autre coût ajouté au produit final

Un des avantages concurrentiels de la biomasse par rapport aux autres combustibles fossiles est son invariabilité de prix respect différents années, cet accroissement est presque nul. Faite difficile à prédire dans le rang des carburants fossiles, cet effet donne à la biomasse quelque *supériorité* au moment de calculer la rentabilité de l'inversion en installations nourries par biomasse.

Les mots suivis d'un "*" sont définis dans le lexique en Annexe



2 Prix des biocombustibles forestiers

Chaque biocombustible présente des prix différents en fonction de la qualité, des quantités, de la modalité de vente.

Granulés ou pellets, prix en fonction de la modalité d'approvisionnement, 2017. Source : AVEBIOM.

Modalité	Prix moyen (€/t)
Sac de 15 kg	262,66 (3,94 €/sac)
Palette	252,70
En vrac (camion à benne)	220,89
En vrac (cuve/citerne)	231,40

Plaquettes, prix en fonction de la granulométrie et du coût d'obtention, 2017. Source : Bureau technique de prévention municipale des feux de forêt, Barcelone.

Prix 2017	P16/G30	P45/G50
Situation A	110 €/t	100 €/t
Situation B	80 €/t	70 €/t

A : travail dans des conditions difficiles. Transport inclus

B : travail dans des conditions favorables. Transport inclus

Bois, prix en gros non coupé (à 2,2-2,4 m) livré en usine pour plusieurs essences, 2017.

Source : Bourse de Vic et Bourse de Gérone (bourses de vente de bois)

Essences	€/t	Essences	€/t
Chêne vert	64,83	Hêtre	42,00
Chêne	48,67	Chêne-liège	38,00

Le bois préparé pour la consommation au détail (découpé et en morceaux) vaut le double, voire plus, que le prix indiqué ici. Le prix dépendra de la quantité livrée, s'il est vert (frais) ou sec, de la modalité d'approvisionnement, de la fréquence, etc.

Briquettes, prix en €/t en fonction de la modalité de vente, 2017. Sources : Acalora, Biomassa d'Osona, boutique de biomasse.

Modalité	€/t
Caisse /sac individuel de briquettes	659 (400-920)
Petite palette (300 kg) en sacs	537
Grande palette (600-1 000 kg) en sacs	360 (300-400)
Petite palette (300 kg) sans sac	440
Grande palette sans sac	300

3 Coût de l'énergie

Le coût de l'énergie dépend du coût du combustible utilisé auquel viennent s'ajouter les coûts correspondant à l'installation (entretien et exploitation, amortissement, consommation en électricité, etc.). Cela permet de comparer différents combustibles ou possibilités d'installation. Nous présentons ci-dessous plusieurs cas pratiques.

3.1 Comparaison de prix en tonne ou en volume

Deux vendeurs proposent du bois coupé et fendu à un client :

- Offre du vendeur 1 : bois de chêne vert à 170 € la tonne, humidité d'environ 30% Hbh.
- Offre du vendeur 2 : bois de hêtre à 110 € le stère de bois empilé, humidité d'environ 30 % Hbh.

Pour comparer les prix, on doit calculer **combien coûte chaque offre par kWh**, l'unité d'énergie qui sera finalement consommée.

Cas n°1 :

Le pouvoir calorifique (PCI, en kWh/t) définit le rapport entre l'énergie et le poids. Puisque le prix est déjà exprimé en unités de poids, il suffit tout simplement de déterminer le PCI (voir Tableau 1 en annexe) correspondant à l'espèce fournie (chêne vert) et au pourcentage d'humidité (environ 30 %) : pour le chêne vert on a 3512 kWh/t30.

Par conséquent $1 \text{ kWh} = 170 / 3512 = 0,048\text{€}$.

Cas n°2 :

Dans ce cas, pour pouvoir utiliser le PCI, le stère de bois empilé doit être mis en rapport avec le volume solide (m³ rouleau), puis la densité du hêtre avec l'humidité indiquée.

Les données des tableaux fournissent ces facteurs de conversion :

- 1 m³ rouleau = 1,2 stère empilé (voir Tableau 2 en annexe)
- densité du hêtre à 30 % Hbh : 0,83 t30/m³ (voir Tableau 3 en annexe)

Par conséquent : $(110 * 1,2) / 0,83 = 159,04$ € pour une tonne de hêtre à 30% d'humidité

Le PCI correspondant au hêtre, pour une humidité d'environ 30 % est de 3262 kWh (voir Tableau 4 en annexe).

Par conséquent : $159,04 / 3262 = 0,049$ €

La conclusion est que les deux vendeurs proposent du bois à des prix comparables sur le plan énergétique.

Lexique des termes de calcul :

kWh : kilo Watt heure, unité traditionnelle de mesure de l'énergie électrique. Correspond au fonctionnement d'une puissance de 1 kW pendant 1 heure.

t30 : tonne de bois à 30% d'humidité

Hbh :

PCI : pouvoir calorifique inférieur, quantité théorique d'énergie contenue dans un combustible. Désigne la quantité de chaleur dégagée par la combustion d'une unité de masse de produit (1kg) dans des conditions standardisées. Plus le PCI est élevé, plus le produit fournit de l'énergie.

3.2 Comparaison de prix de différents combustibles

L'objectif est de déterminer quel biocombustible est le plus économique parmi trois offres communiquées par plusieurs producteurs :

1. Plaquettes de conifères d'une humidité de 30 %. Prix : 30 €/MAP
2. Bois de chêne coupé et empilé d'une humidité de 30 %. Prix : 90 €/stère empilé
3. Granulé ou pellets de conifères en sachet, sur palette, d'une humidité de 10 %. Prix : 230 €/t

Pour comparer les prix, nous devons les convertir en prix par unité d'énergie (€/kWh).

1. Plaquettes de conifères

Données de départ :

Quantité : 1 t MAP bois déchiqueté fin / Prix : 30 €/MAP 30 % / Modalité : bois déchiqueté / Essence : conifères

Comme le prix est exprimé en volume (€/MAP), il doit être converti en prix par énergie avec le PCI (kWh/t), en déterminant par conséquent la densité (t/m³) et le rapport de volume (MAP/m³).

Les tableaux fournissent des valeurs suivantes :

- Rapport de volume : 0,4 m³/MAP (voir Tableau 2 en annexe)
- Densité des conifères à 30 % d'humidité : 0,64 t₃₀/m³ (voir Tableau 3 en annexe)
- PCI des conifères à 30 % d'humidité : 3487 kWh/t₃₀ (voir Tableau 1 en annexe)

Par conséquent : $30\text{€} / (0,4 \text{ m}^3/\text{MAP} \times 0,64 \text{ t}/\text{m}^3 \times 3489 \text{ kWh}/\text{t}) = 30 / (0,4 \times 0,64 \times 3489) = 30 / 898,184 = \mathbf{0,034\text{€}}$

2. Bois de chêne

Données de départ :

Quantité : 1 t stère empilé / Prix : 90 €/stère empilé / Modalité : bois coupé (bûche) / Essence : chênes

Tout comme dans le cas précédent, le volume apparent doit être converti en volume solide (conversion de volumes), en poids (densité, t30/m³ rouleau) et finalement en énergie grâce au PCI.

Les tableaux fournissent les valeurs nécessaires :

- Rapport de volume : 1,2 stère/m³ rouleau (voir Tableau 2 en annexe)
- Densité des chênes à 30 % d'humidité : 0,88 t30/m³ (voir Tableau 3 en annexe)
- PCI du chêne à 30 % d'humidité : 3279 kWh/t30 (voir Tableau 1 en annexe)

Par conséquent : $(90\text{€} \times 1.2 \text{ stère/m}^3) / (0.88 \text{ t/m}^3 \times 3279 \text{ kWh/t}) = (90 \times 1.2) / (0.88 \times 3279) = \mathbf{0.038\text{€}}$

3. Granulés ou pellets de conifères :

Données de départ :

Quantité : 1 t stère empilé / Prix : 230 €/t / Modalité : palette de granulés en sachets / Essence : conifères

Dans ce cas, compte tenu que le prix est déjà exprimé en unité de poids, seul le PCI est nécessaire pour le convertir en prix par énergie. Le PCI des granulés de bois à 10% d'humidité est d'environ 4700 kWh/t (= (5272+4082)/2)

Par conséquent : $230\text{€} / 4700 \text{ kWh/t} = 230 / 4700 = \mathbf{0,049\text{€}}$

Sur la base de ces prix, la matière première peut être classée de la plus économique à la plus onéreuse :

$\mathbf{0,034 \text{ €/kWh (bois déchiqueté) < 0,038 \text{ €/kWh (bois bûche) < 0,049 \text{ €/kWh (granulés)}}$

3.3 Comparaison du coût du chauffage avec différentes installations

Afin de bien choisir un combustible parmi ceux disponibles pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, le coût de l'énergie consommée dans chaque cas doit être calculé. Le coût énergétique dépend de l'installation, du combustible utilisé et de l'énergie produite (Graphique 1).

Coût de l'énergie (€/kWh)

Coûts annuels (€/an)

Installation

Amortissement de l'investissement initial

Investissement initial (€)

Durée de l'investissement (années)

Coûts d'entretien (€/an)

Combustible

Coûts d'exploitation (€/an)

Prix du combustible

Quantité de combustible nécessaire

Énergie générée (kWh/an)

Puissance de la chaudière (kW)

Fonctionnement annuel (h/an)

Rendement de la chaudière (%)

Est présenté ci-dessous un exemple de comparaison de différentes offres pour chauffer une chambre.

Le recours à 6 combustibles différents est comparé : 1. Bois de production propre ; 2. Bois d'un producteur local ; 3. Plaquettes ; 4. Granulés ; 5. Gaz naturel ; 6. Fioul domestique.

Pour ces combustibles, nous disposons des données suivantes :

	Symbole	Unités	Bois H20 propre (t)	Bois H20 local (t)	Plaquettes H30 (t)	Granulés M10 (t)	Gaz naturel (m ³)	Fioul domestique (l)
Prix	P _c	€/u.	77	130	88	216	0,72	1,04
Pouvoir calorifique inférieur	Q, PCI	KWh/u	3 980	3 980	3 400	4 600	9,6	10

Les données de départ pour les installations à comparer sont les suivantes :

Puissance (P) : 100 kW Heures de fonctionnement (h) : 1300 h/an Durée de l'investissement (a) : 20 ans

	Symbol e	Unités	Bois H20 A	Bois H20 B	Plaquettes H30	Granulés M10	Gaz naturel	Fioul domestique
Coûts de l'investissement de l'installation (TTC)	I	€	45 000	45 000	65 000	40 000	13 000	18 000
Coût en électricité (C)	C _{el}	€/an	50	50	200	100	30	30
Frais de nettoyage et d'entretien (E)	C _m	€/an	430	430	530	330	155	155
Efficienc e globale	η	%	0,75	0,75	0,79	0,84	0,9	0,85

À partir de ces données, les différents facteurs doivent être calculés pour déterminer le coût de l'énergie.

Calcul de la production d'énergie finale (énergie nette, après avoir appliqué l'efficacité de la chaudière) :

On doit tout d'abord calculer l'énergie produite brute (E_{1ia} , kWh/an) : ...

Avec : P = puissance de la chaudière (kW) et h = heures de fonctionnement par an (h/an)

Ensuite on applique à cette énergie l'efficacité de chaque chaudière (η) pour obtenir la production d'énergie finale nette (E_{finale} , kWh/an) : ...

Avec : E_{1ia} = énergie primaire (kWh/an) et η = efficacité (%)

Calcul du coût du combustible :

Le rapport entre l'énergie produite brute et le pouvoir calorifique de chaque combustible donne la **demande annuelle en** combustible (Q_c , quantité/an) : ...

Avec : E_{1ia} = énergie produite brute (kWh/an) et Q = pouvoir calorifique inférieur (PCI, kWh/unité de poids ou volume)

En appliquant le prix de chaque combustible, on obtient le **coût annuel en combustible** C_c (€/an) : ...

Avec : Q_c = quantité annuelle de combustible (poids ou volume/an) et P_c = prix de chaque combustible (€/poids ou volume)

Calcul des coûts de l'installation :

Le coût de l'installation doit inclure **l'amortissement annuel**, les coûts d'exploitation (consommation de combustible) et les **coûts d'entretien**.

Dans ce cas, l'amortissement est calculé sans tenir compte des intérêts : ...

Avec : I = investissement initial (€) et a = durée de l'investissement (années)

Les **coûts d'exploitation** incluent la consommation de combustibles calculée au préalable ainsi que les coûts d'entretien.

Calcul du coût total :

À partir de là, on peut calculer le **coût total annuel de chauffage** en faisant la somme du coût de l'amortissement, des coûts d'exploitation (consommation de combustible et d'électricité) et des coûts d'entretien : $C_t = A + (C_c + C_{el}) + C_m = A + C_{op} + C_m$

Avec :

A = amortissement (€/an)

C_c = coûts de combustible (€/an)

C_{el} = coûts d'électricité (€/an)

C_m = coûts d'entretien et de nettoyage (€/an)

C_{op} = coûts d'exploitation (€/an) = $C_c + C_{el}$

Calcul du coût final :

Le coût final (€/MWh) est obtenu à partir du rapport entre la somme des coûts (coût total annuel) et l'énergie nette produite :

Avec : C_t = coûts totaux annuels de l'installation (€/an) et E_{finale} = énergie produite nette (kWh/an)

	Symbole	Unités	Bois H20 auto. (t)	Bois H20 local (t)	Plaquettes H30 (t)	Granulés M10 (t)	Gaz naturel (m3)	Fioul domestique (l)
Production d'énergie primaire	E_{1ia}	kWh/a	130 000	130 000	130 000	130 000	130 000	130 000
		MWh/a	130	130	130	130	130	130
Production finale d'énergie*	E_{finale}	MWh/a	97,5	97,5	102,7	109,2	117	110,5
Demande annuelle en combustible	Q_c		32,7	32,7	38,2	28,3	13 500	130 000
Coût de la consommation annuelle en combustible (B)	C_c	€/an	2 515	4 246	3 365	6 104	9 750	13 520
Amortissement technique/économique (A)	A	€/an	2 250	2 250	3 250	2 000	650	900
Coûts d'exploitation (D = B + C)*	C_{op}	€/an	2 565	4 296	3 565	6 204	9 780	13 550
Coût total annuel (F = A + D + E)	C_t	€/an	5 245	6 976	7 345	8 534	10 585	14 605
Coût final de l'énergie	C_e	€/MWh	53,80	71,55	71,52	78,15	90,47	132,17

4 Conclusion

Votre illustration de page ici

Légende de cette illustration

5 Annexes

A - Tableaux

Tableau 1 : pouvoir calorique inférieur en fonction de l'espèce et de l'humidité (kWh/t%)^c

Essences	Humidité (bh)						
	0 %	20 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %
Chêne vert	5 307	4 110	3 512	3 212	2 913	2 614	2 314
Chêne	4 975	3 844	3 279	2 996	2 714	2 431	2 148
Pin Silvestre	5 338	4 135	3 533	3 232	2 931	2 631	2 330
Pin noir	5 296	4 101	3 504	3 205	2 906	2 607	2 309
Pin d'Alep	5 082	3 930	3 354	3 066	2 778	2 490	2 202
Pin parasol	5 374	4 164	3 558	3 256	2 953	2 651	2 348
Peuplier	4 815	3 716	3 167	2 892	2 618	2 343	2 068
Châtaigner	5 184	4 012	3 425	3 132	2 839	2 546	2 253
Hêtre	4 951	3 825	3 262	2 981	2 699	2 418	2 136
Conifères	5 272	4 082	3 487	3 190	2 892	2 595	2 297
Autres espèces feuillues	5 078	3 927	3 351	3 063	2 775	2 488	2 200

Tableau 2 : conversion de volumes ^a

	Bois en rouleau	Troncs 1 m	Troncs coupés et tranchés 33 cm		Plaquettes	
	m ³ solide	Stère	Stère	Empilé (m ³ apparent)	Fin (P16) MAP	Moyen (P45) MAP
1 m ³ de bois en rouleau	1	1,4	1,2	2	2,5	3
1 stère de troncs de 1 m	0,7	1	0,8	1,4	- 1,75	- 2,1
1 stère de troncs de 33 cm	0,85	1,2	1	1,7		
1 m ³ apparent de troncs de 33 cm empilés	0,5	0,7	0,6	1		
1 MAP de bois déchiqueté fin (P16)	0,4	- 0,55			1	1,2
1 MAP de bois déchiqueté moyen (P45)	0,33	- 0,5			0,8	1

Tableau 3 : densités en fonction de l'humidité
bh et de l'espèce ^c

Essence	Anhydre	50 % Hbh	30 % Hbh	Spécifique
	(t ₀ /m ³ ₀)	(t ₅₀ /m ³ ₅₀)	(t ₃₀ /m ³ ₃₀)	
<i>Quercus ilex</i> (Chêne vert)	0,87	1,42	1,02	0,71
<i>Quercus pubescens</i>	0,73	1,23	0,88	0,62
<i>Quercus petraea</i>	0,7	1,19	0,85	0,59
<i>Quercus faginea</i>	0,75	1,26	0,9	0,63
<i>Quercus sp</i> (excl. <i>Q. ilex</i>)	0,73	1,23	0,88	0,61
<i>Fagus sylvatica</i> (Hêtre)	0,69	1,17	0,83	0,58
<i>Abies alba</i>	0,51	0,91	0,65	0,45
<i>Pinus uncinata</i>	0,5	0,89	0,64	0,45
<i>Pinus sylvestris</i>	0,48	0,85	0,61	0,43
<i>Betula pendula</i>	0,6	1,05	0,75	0,52

Essence	Anhydre	50 % Hbh	30 % Hbh	Spécifique
	(t ₀ /m ³ ₀)	(t ₅₀ /m ³ ₅₀)	(t ₃₀ /m ³ ₃₀)	
<i>Castanea sativa</i>	0,59	1,02	0,73	0,51
<i>Fraxinus excelsior</i>	0,67	1,14	0,81	0,57
<i>Populus nigra</i>	0,43	0,78	0,56	0,39
<i>Platanus x hispanica</i>	0,65	1,12	0,8	0,56
<i>Pinus nigra</i>	0,51	0,91	0,65	0,46
<i>Betula pendula</i>	0,6	1,05	0,75	0,52
<i>Castanea sativa</i>	0,59	1,02	0,73	0,51
<i>Fraxinus excelsior</i>	0,67	1,14	0,81	0,57
<i>Populus nigra</i>	0,43	0,78	0,56	0,39
<i>Platanus x hispanica</i>	0,65	1,12	0,8	0,56
<i>Pinus nigra</i>	0,51	0,91	0,65	0,46
<i>Pinus halepensis</i>	0,55	0,96	0,69	0,48
<i>Pinus pinea</i>	0,51	0,9	0,64	0,45
<i>Pinus pinaster</i>	0,44	0,78	0,56	0,39
<i>Pinus radiata</i>	0,46	0,82	0,59	0,41
Conifères	0,51	0,9	0,64	0,45
Espèces feuillues	0,67	1,15	0,82	0,57

Tableau 4 : conversion unités d'énergie ^b

	Joule (J)	Calorie (cal)	Kilowatt heure (kWh)	TEP
Joule (J)	1	0,239	$0,278 \cdot 10^{-6}$	$0,239 \cdot 10^{-10}$
Calorie (cal)	4,184	1	$1,162 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-10}$
Kilowatt heure (kWh)	$3,600 \cdot 10^6$	$0,860 \cdot 10^6$	1	$8,60 \cdot 10^{-5}$
Tonne équivalent pétrole (TEP)	$41,840 \cdot 10^9$	1010	$11,622 \cdot 10^3$	1

B - Lexique [extrait]

- Biodiversité : variété des espèces vivantes peuplant un écosystème donné.
- Biotope : milieu où vivent une ou plusieurs espèces.
- Cavicole : se dit d'une espèce utilisant les cavités présentes dans les troncs et branches d'arbres.
- Défoliateur (insecte) : insecte qui se nourrit de feuilles et qui provoque une perte du feuillage (défoliation).
- Dendrométrie : qui caractérise la forme, les dimensions (grosesse, hauteur), le volume et l'accroissement d'un arbre, d'un peuplement.
- Desserte forestière : ensemble de la voirie dans un massif forestier.
- Écosystème : unité écologique fonctionnelle relativement stable, constituée par un ensemble d'organismes vivants (biocénose) exploitant un milieu naturel déterminé (biotope).
- Écotone : interface entre deux écosystèmes voisins.
- Épiphyte : se dit d'une plante non parasite se développant sur un support végétal, sans contact avec le sol.
- Futaie : arbre ou peuplement forestier issu de semis ou de plants, donc fondé sur la reproduction sexuée des arbres.
- Halieutique : qui a rapport avec la pêche.

Ajouter un lexique ???

B - Bibliographie

Ouvrages référencés dans le texte :

- (a) : COMMISSION FRANCESCATO, V.; ANTONINI, E.; ZUCCOLI, L. Manual de combustibles de madera. Producción. Requisitos de calidad. Comercialización. Valladolid: AVEBIOM, 2008.
- (b) : RODRÍGUEZ, J. et al. Aprofitament i desembosc de biomassa forestal. [S.I.]: Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Centre de la Propietat (CPF)., 2006.
- (c) : AFIB, CTFC. Taules d'equivalències. [S.I.]: [s.n.], 2016.

Conception et rédaction :

Crédits illustrations :

Page 0 : L.-A. Lagneau © CNPF

Page 1 : S. Gaudin © CNPF

Maquette : Eduter-CNPR

Édition : Juin 2019

Plus d'informations ?

Voici les partenaires d'eForOwn qui peuvent vous informer, vous former et vous accompagner

Vous êtes propriétaire forestier

En Belgique



En Espagne



En France



Vous êtes étudiant ou enseignant

En Belgique



En Espagne



En France

