



Journée d'information sur la QUALITE des COMBUSTIBLES

Le 26 janvier 2016 à Saint Brice en Coglès



Co-funded by the Intelligent Energy Europe
Programme of the European Union

Objectifs de la journée

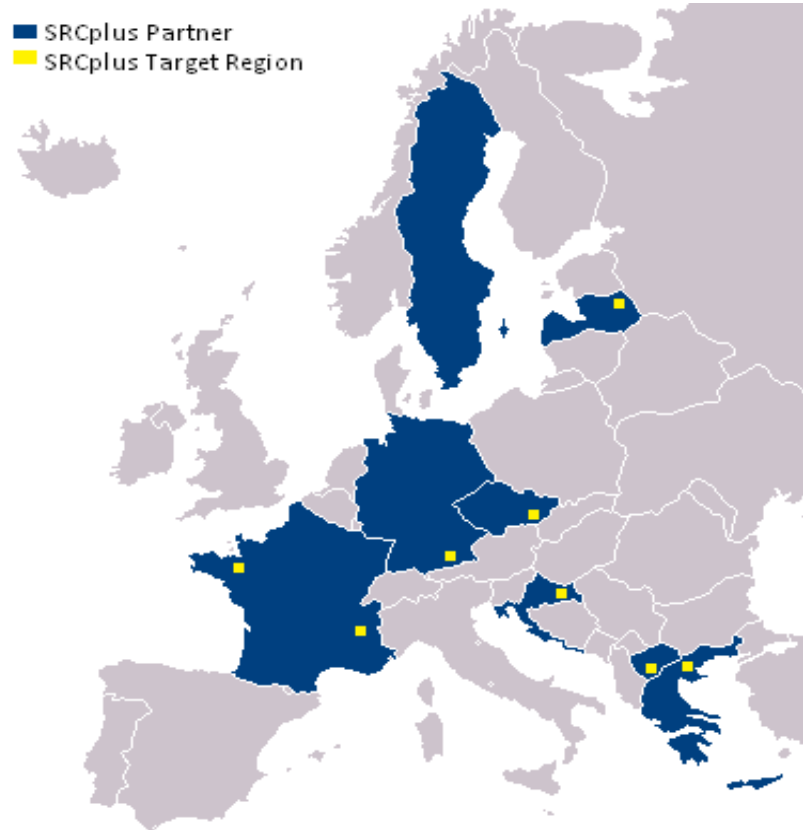
- Connaître l'origine des combustibles bois déchiqueté et leur mode de production : plaquettes forestières, TTCR et TCR, déchets d'emballage et de l'industrie, bois d'élagage
- Reconnaître et mesurer la qualité du combustible adapté à sa chaudière



Promouvoir les T(t)CR dans 9 régions européennes réparties dans 7 pays

- **Allemagne** : Bavière/Achental
- **Croatie** : Région Est
- **France** : Bretagne/Rhone-Alpes
- **Grèce** : Kentriki Makedonia
- **Lettonie** : Vidzeme
- **Macédoine** : Prespa
- **République Tchèque** : Zlin
- **Suède** (Pays référent)

■ SRCplus Partner
■ SRCplus Target Region



Le projet SRC+

9 Régions - 3 Axes de développement - 3 Publics visés

Inclure les T(t)CR dans une économie locale pour approvisionner des chaufferies bois

Valorisation de délaissés agricoles et autres dépendances vertes

Protection de l'eau : zone de captage, zone tampon, bande ligno-cellulosique

Epandage ou traitement tertiaire par irrigation d'une zone végétalisée en aval d'une station d'épuration collective ou d'une unité de méthanisation agricole



Le projet SRC+

9 Régions - 3 Axes de développement - 3 Publics visés

**Former et informer sur l'intérêt de la culture en
TCR / TtCR**

Agriculteurs ,

Collectivités et gestionnaires routiers ,

Fournisseurs de bois et exploitants de chaufferies

Autres prescripteurs :

Bureaux d'études Assainissement,

Animateurs bassin versant,

Relais bois énergie






Origine des combustibles bois



LA FILIÈRE BOIS



 Recyclage

Première transformation

Deuxième transformation



BOIS ÉNERGIE



- Plaquettes forestières
- Granulés
- Bûches

BOIS D'ŒUVRE



Placage,
Contreplaqués

Panneaux

Produits connexes

- Emballage**
(palettes, caisses, cageots)
- Bâtiment et construction**
(charpentes, menuiseries,
parquets, lambris...)

BOIS D'INDUSTRIE



Pâte à papier

Panneaux

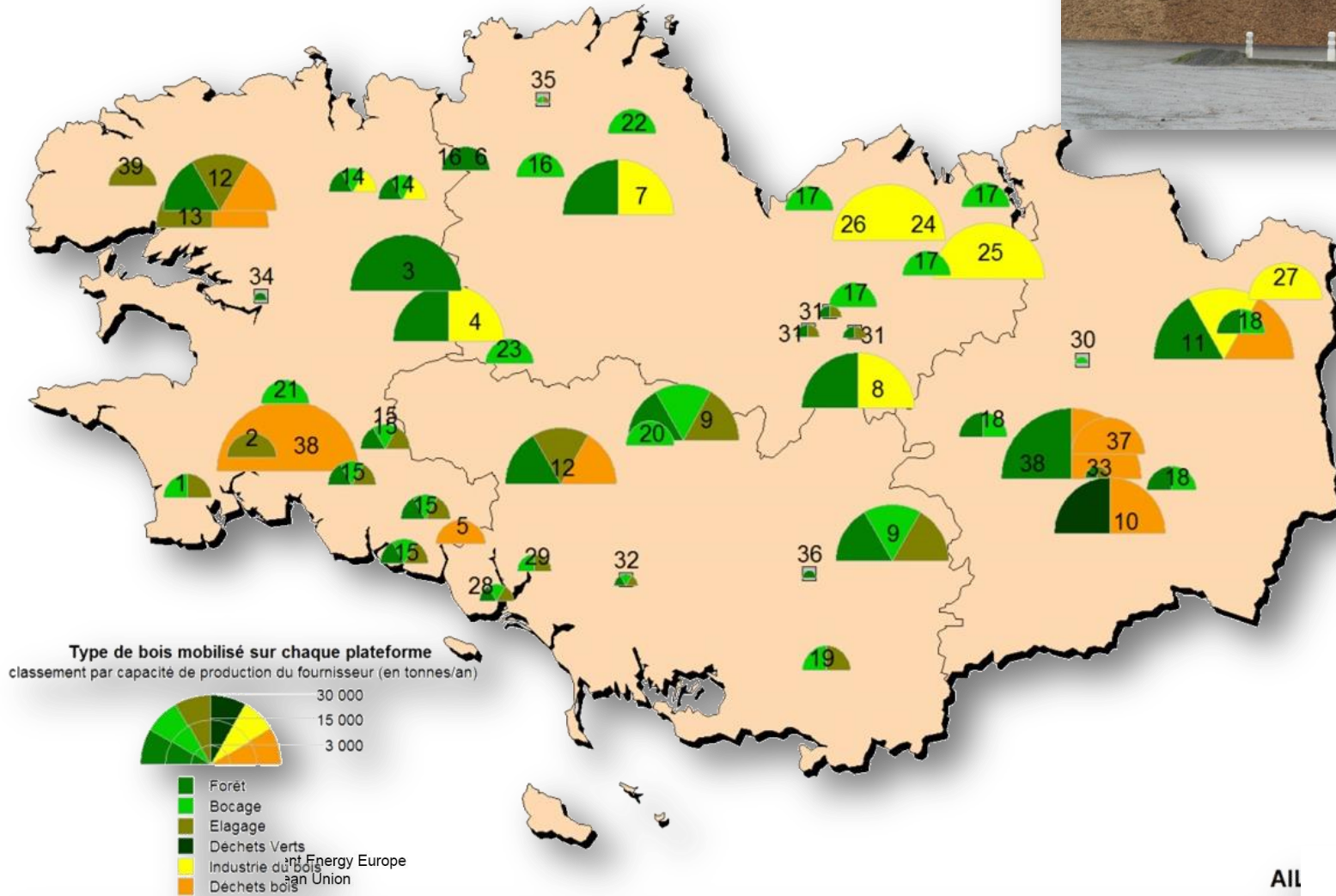
- Industrie papetière**
(papier et cartons)
- Meubles et ameublement**

Source CG74



Une production de bois énergie locale

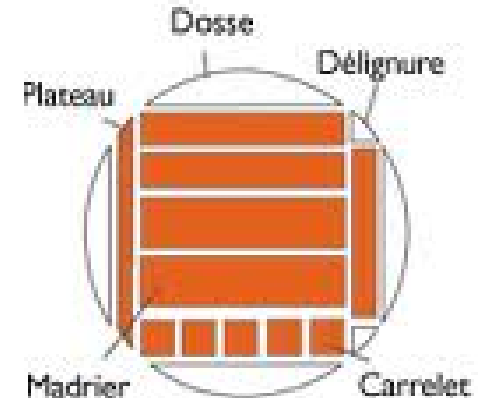
Une trentaine de fournisseurs pour plus de 400 000t/an :



ORIGINE DU BOIS

Les produits connexes des industries du bois

- une tonne de bois scié génère :
 - 0,55 t de sciage et aussi ...



- 0,11 t d'écorces
- 0,24 t de plaquettes
- 0,10 t de sciures

Source CTBA



ORIGINE DU BOIS

Le bois en fin de vie non traité

Types d'activités : construction, grande distribution, industrie, déchetterie, plateforme de tri / conditionnement.
Types de produits non adjuvantés ou faiblement adjuvantés

→ Bois d'emballage non traité bénéficiant de la SSD

→ *accepté en chaufferie
déclarée en rubrique ICPE 2910A*



→ Autres déchets

bois propre ou faiblement adjuvantés

- Bois d'emballage hors SSD
- bois de coffrage, bois de rebut triés propres
- bois de démolition propres
- Panneau, lamellé collé

→ *accepté en chaufferie déclarée en rubrique
ICPE 2910B*

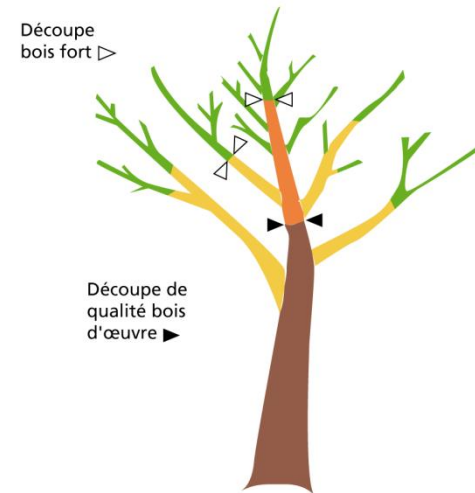


ORIGINE DU BOIS

Les sous-produits forestiers et bocagers

Types de produits

Cime et petites branches		Menu bois
Surbilles de branches		} Bois industrie/Bois énergie (BIBE)
Autres surbilles de tiges		
Bille de pied et surbilles de tiges		Bois d'œuvre (BO)



Billons,



Elagage,



Branches,

Souches,

Fagots

ORIGINE DU BOIS

Les sous-produits forestiers et bocagers

Types d'activités : sylviculture, agriculture, paysage.
ex : bois d'éclaircie résineuse, rémanents, taillis, bocage,
bord de routes, canaux



ORIGINE DU BOIS

Les déchets verts et bois d'élagage





Focus sur la production de TCR et TTCR



Taillis à Courte et Très Courte Rotation



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union

Les taillis à Courte et Très Courte Rotation

Densité de plantation / Rythme d'exploitation

Fréquence rotation	Peuplier	Saule
Courte (2-4 ans) TtCR	8.000 à 10.000 boutures/ha Simple rang Distance inter-rang : 2 m Distance sur le rang : 45-60cm	13.000 à 15.000 boutures/ha Double rang espacé de 0.75m Distance inter-rang : 1,5m Distance sur le rang : 45-60 cm
Moyenne (6-8 ans) TCR	4.000 à 5.000 plants/ha Simple rang Distance inter-rang : 2 m Distance sur le rang : 1 m	Non testé
Longue (> 10ans) TCR	2.500 à 3.500 plants/ha Simple rang Distance inter-rang : 2 m Distance sur le rang : 1.5-2m	1.000 à 2.000 plants/ha Simple rang Distance inter-rang : 3 m Distance sur le rang : 2- 4m

ORIGINE DU BOIS

Les taillis à Courte et Très Courte Rotation

Choix des essences

TCR	TtCR
Aulne, bouleau, érable sycomore, eucalyptus, frêne, hêtre, murier, paulownia, peuplier, robinier faux-acacia, saule.	peuplier, robinier faux-acacia, saule..



Stratégie d'implantation (3)

Implantation / Récolte

	TCR	TtCR
Préparation	Travail du sol localisé sur le rang par sous-solage si plants enracinés / en plein si boutures.	Travail du sol en plein.
Plantation	Plantation semi-manuelle ou manuelle. Au printemps si boutures et en automne si plants enracinés. Possibilité zéro-phyto.	
Récolte	Mécanisée tige entière spécifique TtCR saule (Stemster). Mécanisée ensileuse automotrice et autres prototypes (ensileuse trainée, broyeur récupérateur). Mécanisée sécateur. Semi Manuelle.	

Plantation à l'aide d'une planteuse mécanique (STEP)



1 mois après la plantation



6 mois après la plantation



TTCR de saule de 1 an



Un entretien régulier : les deux années qui suivent chaque récolte

Broyage de l'allée de 1,5m

En plus du broyage inter-rang, traiter si besoin avec un pulvérisateur à dos en localisé avec un produit débroussaillant. RAPPEL aucun débroussaillant n'est sélectif du saule.

La troisième année de pousse des saules il est plus difficile de rentrer dans la parcelle mais si la parcelle a été entretenue correctement, la pression adventice sera faible.



correctement



TTCR de 2 à 4 ans très bien entretenu



Coûts d'implantation

Opération	Itinéraire de base	Optionnel
Préparation du sol : Destruction du couvert végétal / Labour / Travail superficiel du sol	250 €	
Amendement		100 €
Traitement antiparasitaire		90 €
Traitement antigerminalif (prélevée)	305 €	
Plantation	1 800 €	
Débroussaillage inter-rang	80 €	
Désherbage post levée en localisé inter-rang	140 à 320 €	
Recépage	60 €	
Coût/ha sans aménagement	2 635 à 2815 €	190 €
Entretien régulier de la plantation : broyage inter-rang et tournières	100€/an	





La chaîne de production du bois énergie



Co-funded by the Intelligent Energy Europe
Programme of the European Union

Récolte en tige entière



Récolte tige entière



TTCR de 6 ans exploité pour la deuxième fois



Récolte type ensileuse



Co-funded by the Intelligent
Programme of the European Union

Granulométrie des plaquettes de TTCR



Co-funded by the Programme of the

Coûts de récolte avec la Stemster tige entière

Actuellement avec peu d'ha implantés et éparpillés

Récolte tiges entières = 700€/ha + 100€/h

Déchiquetage = 400€/ha à 800€/ha (200€/h à 50m³/h)

TOTAL = 1400€/ha à 1800€/ha (+100€/ha/an d'entretien)



Hypothèse économique sur la vente du bois en fonction des rendements

basse

haute

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Production 8TMS/ha/an • Au bout de 3ans, 24TMS/ha • 32T à 25% d'humidité • Hors stockage/transport • Vente brute 55€/T, • TOTAL 1 760€/ha | <ul style="list-style-type: none"> • Production 12TMS/ha/an • Au bout de 3ans, 36TMS/ha • 48T à 25% d'humidité • Hors stockage/transport • Vente brute 55€/T, • TOTAL 2 640€/ha |
|--|---|



Autres outils de récolte développés par les constructeurs européens

- Systèmes de coupe avec un axe vertical (chaînes ou disques ou scies) ou horizontal (dents) + rotor de déchiquetage
Ensileuse automotrice
Ensileuse traînée frontale ou déportée
- Systèmes de broyage avec un axe horizontal actionnant des marteaux
Broyeur automoteur
Broyeur traîné





Ensileuses automotrices équipées avec des têtes de récolte spécifiques



Chantiers avec des remorques

Démo le 15 et
16 Mars 2016
(60, 14)



Ensileuses traînées latérales
ou frontales



Systemes de coupe à scie, à section, à chaîne



Des solutions à la marge : Broyeur forestier récupérateur



Quelle quantité de matière restée au sol ?
Quelle quantité de sol prélevée par rapport au système de patin ?
Qualité de la repousse ?



Des solutions à la marge : Le biobaler



Evitez un chantier avec des remorques, mais que faire des balles?

Utilisation en four à charbon?

Quantité de matière restée au sol jusqu'à 30% si affûtage des marteaux n'est pas fait régulièrement.

Qualité de la repousse?



Le déchiquetage



Le déchiquetage : exemples de machines

1 – Avec entraînement par prise de force, sur attelage 3 points ou tracté sur essieux, avec alimentation :

manuelle



par grappin annexe



par grappin intégré



2 - Avec transmission directe sur camion porteur



4 – Automoteur



3 – Avec motorisation indépendante :
sur porteur forestier

sur camion porteur



sur châssis à chenille :



Le Séchage



Séchage de la plaquette : différentes performances en fonction des conditions

Auto-échauffement



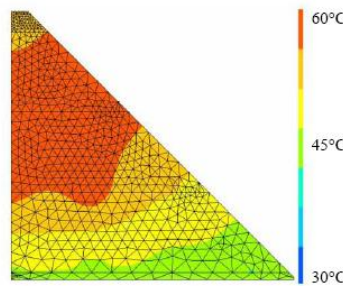
Température maximum du tas	Temps de rétention	Humidité sur brut finale
60 à 80°C	2 à 3 mois	40% bâche agricole 35% sans bâche 25 - 30% sous bâche respirante 20 - 25% sous abri



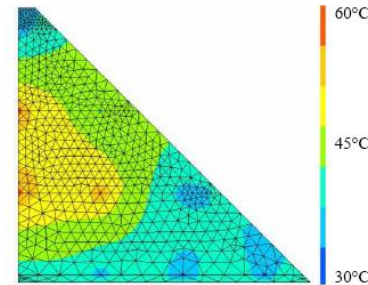
Cinétique du séchage de la plaquette



T°C



1 jour

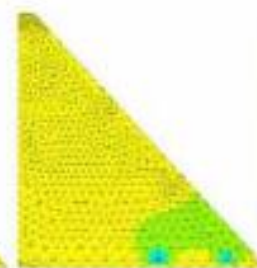


25 jour

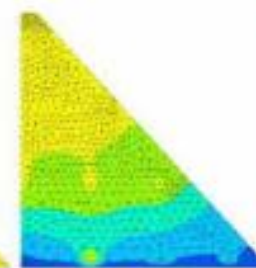
humidité



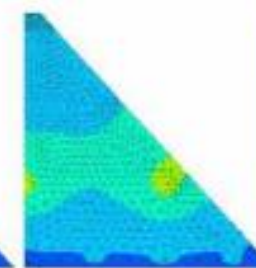
14 heures



2 jours



12 jours



25 jours



52 jours

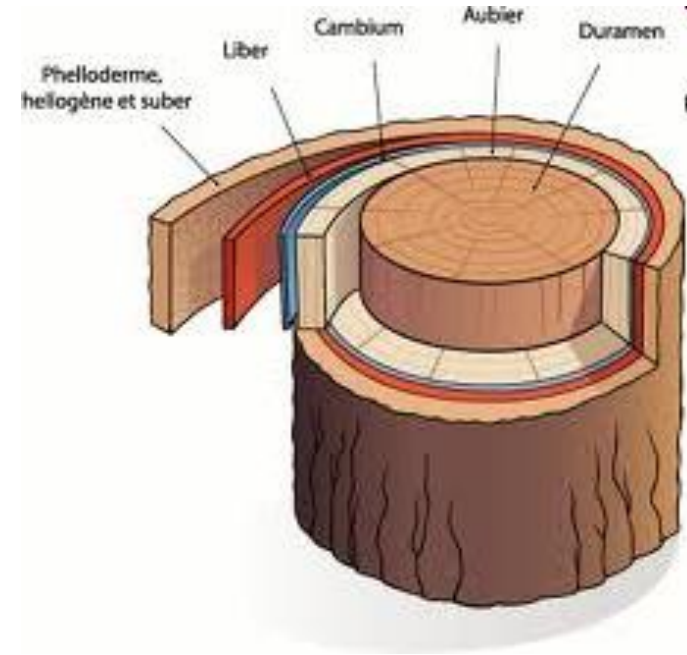
60%
40%
20%

Le séchage se fait grâce à la production de chaleur et la migration de l'humidité vers l'extérieur. La chaleur s'accumule au cœur grâce à la faible ventilation et l'isolation du tas.



Paramètres influençant le séchage

- Démarrage du processus de séchage
 - ✓ la température extérieure,
 - ✓ l'humidité initiale du bois,
 - ✓ la fraîcheur du bois avant broyage,
- Entretien du processus
 - ✓ la proportion d'écorce et de feuilles,
 - ✓ L'âge du bois,
 - ✓ La saison estivale,
- Efficacité du processus
 - ✓ le taux de compaction du tas,
 - ✓ la granulométrie,
 - ✓ le volume de bois amoncelé ou la hauteur du tas,
 - ✓ (la pluviométrie).



Criblage

Crible stationnaire sur table vibrante (SEGEM)



Investissement 24k€

Débit 15m³/h

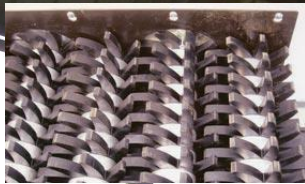
1 à 2€/m³

(source Esat Glomel)



Criblage

Crible stationnaire à étoiles de broyat après broyeur lent ou de déchiqueté sur crible



Criblage

Criblage de broyat après broyeur lent sur trommel (tambour)



Investissement 400k€

Débit 35 à 200m³/h

2,5€/m³



Criblage

Criblage de plaquette sur tambour (Carroy CBL)



Investissement 50k€

Débit 20 à 50m³/h ?

1,5 à 2 €/m³ ?

Criblage

Godet cribleur monté sur télescopique



15 m³/h max
(source Cuma de l'or
noir à Cussac 87)

Autre exemple :





Caractéristiques du combustible

Composition chimique du bois

Composé de 3 fractions: organique, minérale, eau

- Fraction minérale: entre 0,5% et 1,5% de la masse anhydre: cendres
- Fraction organique: composition déterminante pour son contenu énergétique (résines, tanins, cellulose, lignine)

En moyenne, en % de la masse anhydre, la répartition est la suivante:

C	H	O	N
49 à 50	6	43 à 44	0,2 à 0,5

- Contient beaucoup d'oxygène et nécessite moins d'air que les énergies fossiles pour sa combustion
- Ne contient pas de soufre



Caractérisation de l'humidité

Définition :

Humidité sur masse brute H = masse d'eau contenue dans le bois / masse totale du bois

Humidité sur masse sèche E = masse d'eau contenue dans le bois / masse du bois sec

La mesure :

Selon CEN/TS 14774, le minimum à tester est de 300 g ; cependant il est recommandé de tester une masse supérieure à 500 g, voire 1 à 2 kg lorsque la granulométrie est supérieure à 100 mm.

Référence : par déshydratation en étuve à une température comprise entre 103 et 107°C.



Pouvoir calorifique du bois

- Pouvoir calorifique inférieur PCI (kWh/t):
Énergie produite par la combustion d'un combustible donné (en ne prenant pas en compte la chaleur latente de vaporisation de l'eau)

$$\text{PCI bois anhydre} = 108 \times \text{C\%} - 60,5 \times \text{Humidité\%}$$

Varie entre 48 et
52% d'une essence
à l'autre

Varie entre
8 et 60%

- L'humidité du bois est le facteur qui influence le plus le PCI

PCI du bois anhydre = 5 000 kWh/t en moyenne

PCI du Fioul = 10 000 kWh/t en moyenne



Variations du PCI en fonction des essences de bois

- Sachant que la teneur en C, H , O et N varie selon les essences de bois → PCI varie
- En moyenne

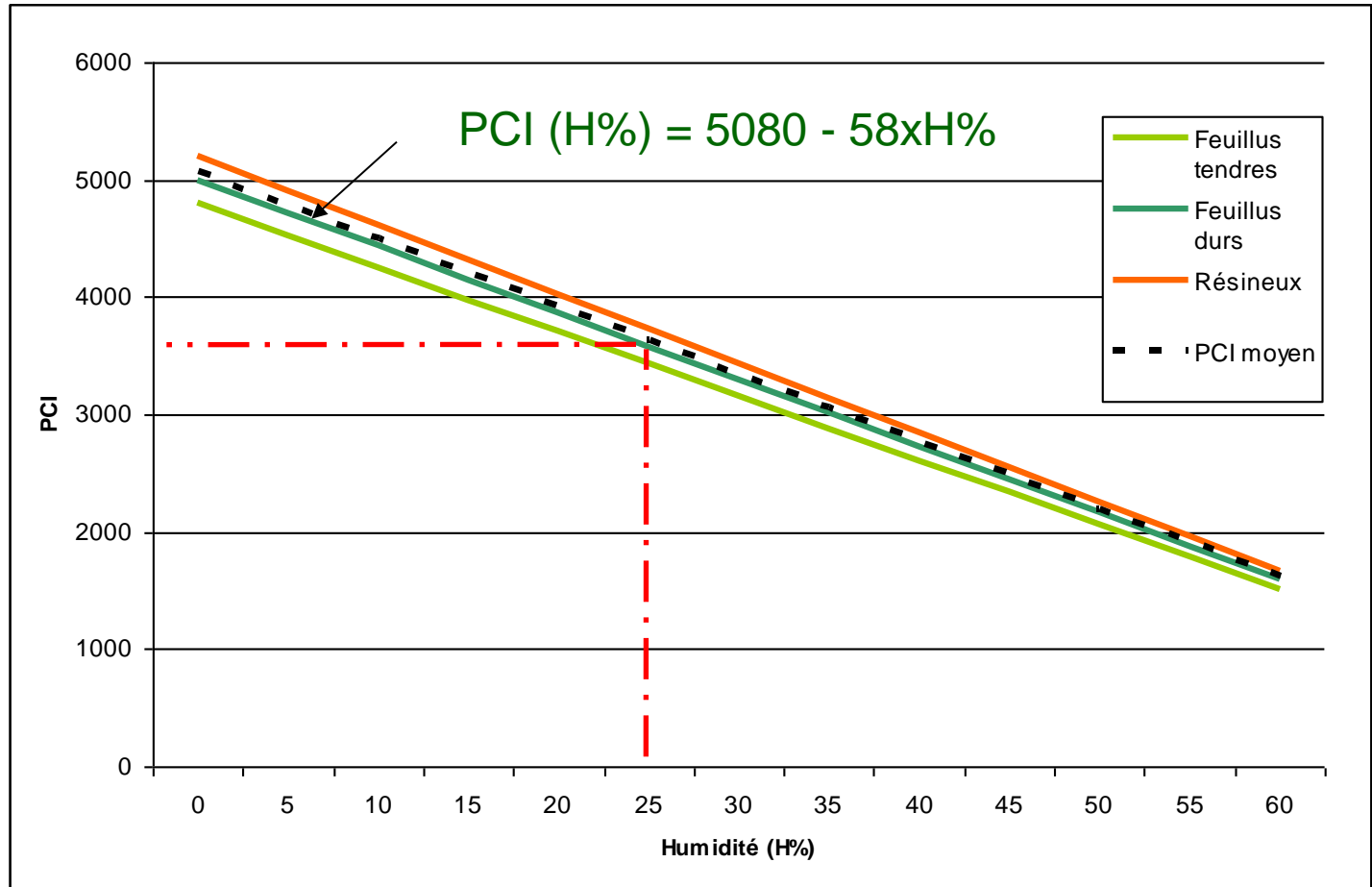
Feuillus: 4800 kWh/t à 5200 kWh/t

Résineux: 5100 kWh/t à 5300 kWh/t (teneur en C plus élevée)

Essences	Etat anhydre H2O = 0% [kWh/kg]	Etat brut H2O = 25% [kWh/kg]
Chêne	4,93	3,52
Hêtre	4,87	3,45
Charme	4,95	3,54
Bouleau	5,24	3,75
Aulne	4,99	3,56
Orme	5,13	3,67
Erable	4,86	3,47
Frêne	4,94	3,53
Peuplier	4,80	3,42
Châtaigner	5,23	3,74
Cerisier	4,95	3,51
<hr/>		
Sapin	5,37	3,85
Pin	5,32	3,81
Mélèze	5,19	3,71



Variation du PCI en fonction de l'humidité



L'humidité est le facteur le plus important pour maîtriser le PCI du bois



Caractérisation de la granulométrie

- La qualité granulométrique de la plaquette réside plus dans sa régularité que dans la taille des particules

- La mesure

(selon les exigences de CEN/TS 15149)

- Le tamis correspondant à la partie « grossière »
- Le tamis correspondant à la classe de granulométrie recherchée
- Le tamis à maille de 3,15 mm
- Le tamis de 1 mm correspondant à la partie fine



- Les classes définies par le CEN

ADEME -FCBA

	Fraction principale > 80 % du poids	Fines < 5 %	Fraction dont la granulométrie est supérieure à ... (la valeur ci-dessous) doit être < 1 %
p811	$P < 8 \text{ mm}$	< 1 mm	< 45 mm
P16	$3,15 \text{ mm} \leq P \leq 16 \text{ mm}$	< 1 mm	> 45 mm, l'ensemble < 85 mm
P45	$3,15 \text{ mm} \leq P \leq 45 \text{ mm}$	< 1 mm	> 63 mm
P63	$3,15 \text{ mm} \leq P \leq 63 \text{ mm}$	< 1 mm	> 100 mm
P100	$3,15 \text{ mm} \leq P \leq 100 \text{ mm}$	< 1 mm	> 200 mm
P300	$3,15 \text{ mm} \leq P \leq 300 \text{ mm}$	< 1 mm	> 400 mm



Granulométrie du bois déchiqueté selon la norme önorm ou EN



**Petite
plaquette**

Equivalent à :
norme **G30**
(autrichienne)

EN 14961 **P16**

Chaufferie
domestique



**Plaquette
moyenne**

Equivalent à :
norme **G50**
(autrichienne)

EN 14961 **P45**

Chaufferie
domestique
Et collectivité



**Plaquette
grossière**

Equivalent à :
norme **G100**
(autrichienne)

EN 14961 **P65**
ou **P100**

chaufferie
collectivité et
industriel



Comparaison des normes CEN et Autrichienne

CEN/TS 15149

	Fraction principale > 80 % du poids	Fines < 5 %	Fraction dont la granulométrie est supérieure à ... (la valeur ci-dessous) doit être < 1 %
p811	P < 8 mm	< 1 mm	< 45 mm
P16	3,15 mm ≤ P ≤ 16 mm	< 1 mm	> 45 mm, l'ensemble < 85 mm
P45	3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm	< 1 mm	> 63 mm
P63	3,15 mm ≤ P ≤ 63 mm	< 1 mm	> 100 mm
P100	3,15 mm ≤ P ≤ 100 mm	< 1 mm	> 200 mm
P300	3,15 mm ≤ P ≤ 300 mm	< 1 mm	> 400 mm

ÖNORM M7133

Chip designation	<4% of particles	<20% of particles	60 - 100% of particles	<20% of particles	Max. area cm ²	Max. length cm
G30	<1 mm	1 - 3 mm	3 - 16 mm	>16 mm	3	8.5
G50	<1 mm	1 - 6 mm	6 - 32 mm	>32 mm	5	12
G100	<1 mm	1 - 11 mm	11 - 63 mm	>63 mm	10	25
G120	<1 mm	1 - 63 mm	63 - 100 mm	>100 mm	12	30
G150	<1 mm	1 - 100 mm	100 - 130 mm	>130 mm	15	40



Caractérisation des plaquettes issues de TtCR

Commune de Pleyber-
Christ Récolte TtCR
saules 3ans
stemster tiges entières
+ déchiquetage



Communauté de
Communes Bretagne
Romantique Récolte
TtCR 3ans
peuplier, robinier,
saules, ensileuse



Taux de cendre

- La quantité de cendre est proportionnelle à la quantité de matière minérale dans le bois :
(pourcentage de masse anhydre)
 - Écorce : 5%
 - Rémanents forestiers : 2%
 - Perches et grumes : 0.3%
 - Palette : 0.75%
 - TTCR / TCR : 1,8-2%
 - Source : FCBA, SRCplus

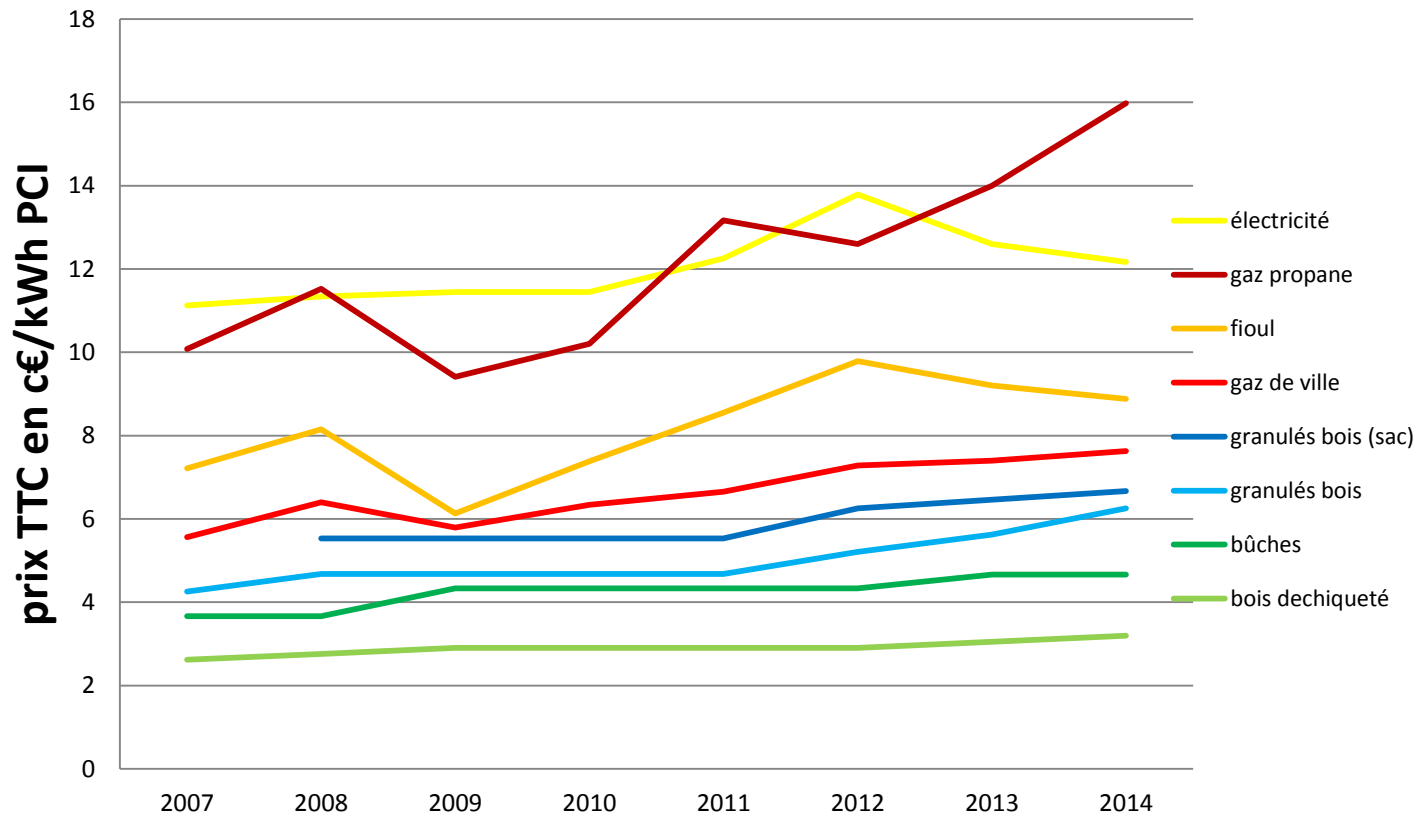




Les prix de marché



Comparaison des prix des énergies pour l'utilisation domestique (sources : Energie plus, CEEB, Aile)



Variation du prix de vente du bois en fonction de l'humidité

humidité du bois livré : **25%**

PCI : 3600 kwh/tonne

prix du bois livré : **100,00 €** par Tonne sèche
28 € par MWh

Comparaison des prix de vente des combustibles livrés en vrac en €/tonnes dans le Tertiaire

combustible	humidité	PCI (Kwh/tonne)	Prix livré (€ /tonne)	Prix livré (€ /MWh)
plaquette bois	15%	4160	116 €	28 €
plaquette bois	16%	4104	114 €	28 €
plaquette bois	18%	3992	111 €	28 €
plaquette bois	20%	3880	108 €	28 €
plaquette bois	22%	3768	105 €	28 €
plaquette bois	24%	3656	102 €	28 €
plaquette bois	25%	3600	100 €	28 €
plaquette bois	26%	3544	98 €	28 €
plaquette bois	28%	3432	95 €	28 €
plaquette bois	30%	3320	92 €	28 €
plaquette bois	32%	3208	89 €	28 €
plaquette bois	34%	3096	86 €	28 €
plaquette bois	35%	3040	84 €	28 €
plaquette bois	36%	2984	83 €	28 €
plaquette bois	38%	2872	80 €	28 €
plaquette bois	40%	2760	77 €	28 €
plaquette bois	42%	2648	74 €	28 €
plaquette bois	44%	2536	70 €	28 €
plaquette bois	45%	2480	69 €	28 €
plaquette bois	0%	5000		



Prix de production du bois de TTCR

	Hypothèse basse	Hypothèse haute
Plantation de TTCR (€ HT/ha)	2 300 €	2 800 €
Entretien (2 fois par cycle)	160 €	320 €
Epanrages (1 à 2 fois par cycle)	180 €	360 €
Récolte tous les 3 ans (€ HT/ha)	1 350 €	1 800 €
Récolte (STEMSTER), broyage, remorques jusqu'au hangar	Valorisation optimisée de la récolteuse sur 200 ha/an	Situation actuelle: 1000 €/ha coupe Stemster 800 €/ha broyage
Coût annuel de la culture sur 20 ans (€ HT/ha/an)		
avec épandage	622 €	884 €
sans épandage	568 €	776 €
Coût du stockage du bois (€/t 25% humidité)	6 €	20 €
	Hangar agricole de récupération	Plate-forme neuve
Rendement prévisionnel (t/ha/an 25% humidité)	13,3	10,7
Plantations destinées à l'énergie Prix de revient du bois (€/t 25% humidité)	53 €	103 €
Plantations destinées à l'énergie Prix de revient du bois (€/MWH)	15 €	28 €

