

Mots clés

- Bois énergie
- Chablis
- Pouvoir calorifique

## Valorisation des chablis en bois énergie par l'industrie papetière en Aquitaine

Suite aux accords de Kyoto, l'Union Européenne s'est engagée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 8 % d'ici 2012. Un moyen d'atteindre cet objectif est l'utilisation d'énergies renouvelables à la place des énergies fossiles.

La tempête de décembre 1999 a eu pour effet de relancer l'intérêt des industriels papetiers aquitains, équipés de chaudières à biomasse, pour le bois énergie. En Aquitaine, en effet, malgré l'importante mobilisation de la filière, les dégâts étaient tels que des quantités importantes de bois devenues impropres à une transformation industrielle habituelle, ne pouvaient être destinées qu'à une **utilisation énergétique**.

L'industrie papetière est un important consommateur d'énergie. L'utilisation énergétique des chablis se substitue à l'emploi d'énergies fossiles mais aussi aux écorces, source traditionnelle d'énergie, qui viendront à manquer lors du déstockage des bois conservés par aspersion.

La consommation potentielle de chablis dégradés pour la production d'énergie, par l'industrie papetière en Aquitaine, devrait s'étaler jusqu'en 2005 (ressource estimée entre 4 et 5 millions de m<sup>3</sup> à fin décembre 2002).

**La pérennisation de la fourniture de bois énergie** à partir de cette échéance, ne pourra se fonder que sur un approvisionnement complémentaire.

**L'utilisation de rémanents laissés sur coupe**, à l'instar de scénarios déjà développés en Scandinavie, pourrait être une option intéressante. Cette perspective permettrait de dégager des solutions durables d'approvisionnement en bois énergie pour les chaudières industrielles, à partir d'une ressource non concurrente, mais bien complémentaire du bois de trituration, et de pérenniser la consommation d'énergie renouvelable.



Plaquettes de bois chablis destinées à l'énergie.

## Rappel général sur le pouvoir calorifique

### ■ Pouvoir calorifique supérieur (PCS)

Le PCS est l'énergie dégagée par la combustion parfaite d'un matériau en récupérant la chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau émise lors de la combustion. Cette donnée est donc le plus souvent théorique, la chaleur latente de la vapeur d'eau n'étant pratiquement jamais récupérée par l'utilisateur.

### ■ Pouvoir calorifique inférieur (PCI)

Le PCI est égal au pouvoir calorifique supérieur sans récupération de la chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau émise lors de la combustion. Il s'agit de l'énergie théoriquement récupérable par l'utilisateur (dans le cas d'une combustion parfaite). Cette donnée est celle utilisée dans la pratique.

Les deux éléments combustibles du bois sont le carbone et l'hydrogène. L'élément prépondérant est le carbone (de l'ordre de 50 % de la fraction organique).

Les hydrocarbures (fioul domestique ou gaz) contiennent, en plus du carbone, une proportion importante d'hydrogène très réactif. Le bois contient 5 à 6 % d'hydrogène contre 12 % pour les hydrocarbures liquides et 22 % pour les hydrocarbures gazeux.

Cette analyse des éléments combustibles du bois explique la différence significative du PCI du bois par rapport aux autres combustibles. Pour une même masse, le PCI du fioul domestique est le double du PCI du bois anhydre (cf. Tableau 1).

**Tableau 1 : PCI du bois anhydre par rapport au fioul domestique et au gaz**

Combustible	PCI (en kWh/tonne)	Teneur en C (en %)	Teneur en H (en %)
Bois moyen (mélange d'essences)	5 000	50	6
Fioul domestique	11 600	86	12
Gaz de Lacq	14 000	66	22

Le PCI et le PCS anhydres sont donc des données intrinsèques du bois. La composition chimique du

bois étant très stable, le pouvoir calorifique entre essences ne varie que faiblement (cf. Tableau 2).

**Tableau 2 : PCI du bois anhydre de quelques essences feuillues et résineuses**

Feuillus	PCI (en kWh/tonne sèche)	Résineux	PCI (en kWh/tonne sèche)
Chêne	4 950	Pin sylvestre	5 320
Châtaignier	5 200	Pin maritime	5 350
Bouleau	5 000	Sapin	5 280
		Douglas	5 300
<b>Moyenne feuillus</b>	<b>5 070</b>	<b>Moyenne résineux</b>	<b>5 300</b>

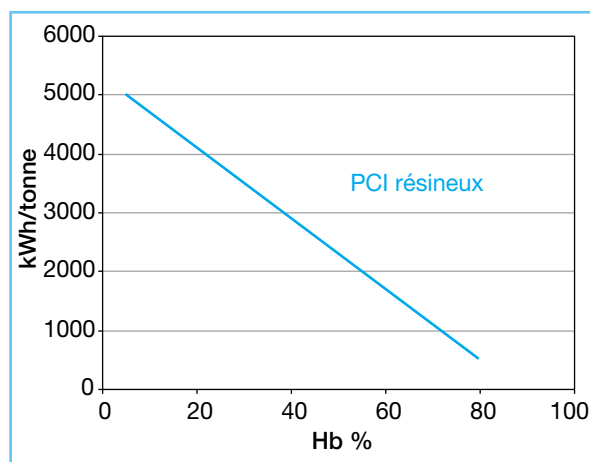
### ■ Influence de l'humidité

Le PCI du bois est par contre **très fortement influencé par son humidité (cf. graphique 1)**. Le séchage du bois se traduit par une forte augmentation de son pouvoir calorifique. La formule approchée pour calculer le PCI réel du bois humide en fonction du PCI du bois anhydre est la suivante :

$$\text{PCI réel} = \text{PCI anhydre} (1 - \text{Hb}/100) - 6,98 \text{ Hb}$$

où : les PCI sont exprimés en kWh et Hb représente le taux d'humidité sur le poids brut (masse de l'eau contenue dans le bois / masse brute du bois), exprimée en %.

**Graphique 1 : Evolution du PCI réel (en kWh/tonne) du bois de résineux en fonction de l'humidité (en %)**



## Utilisation énergétique des chablis de pin maritime dégradés laissés sur coupe

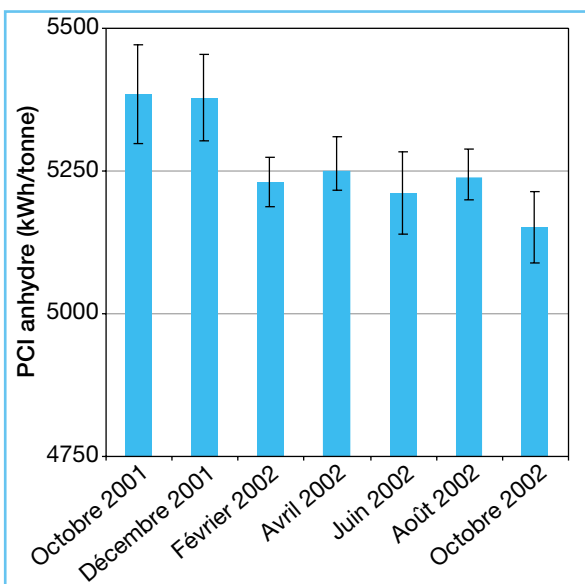
### ■ Evolution du pouvoir calorifique des bois chablis laissés sur coupe

La principale inquiétude liée à l'utilisation énergétique des chablis de pin maritime était la diminution du PCI de ces bois, avec l'augmentation de leur dégradation.

Pour suivre cette évolution, 5 parcelles de chablis de pin maritime, réparties en Gironde furent étudiées. Tous les 2 mois, d'octobre 2001 à octobre 2002, des échantillons de bois ont été prélevés sur ces parcelles et les mesures suivantes ont été réalisées :

- taux de siccité,
- pouvoir calorifique inférieur sur échantillons bruts et anhydres,
- taux de cendres.

### Graphique 2 : Evolution du PCI du bois anhydre (en kWh/ tonne) des chablis de pin maritime laissés sur coupe



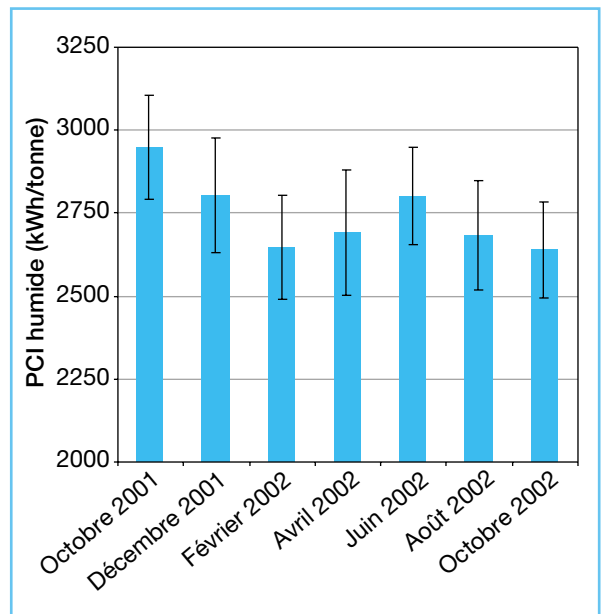
Entre octobre et décembre 2001, on ne note pas d'évolution significative du PCI anhydre des bois de chablis laissés sur coupe. Le PCI anhydre moyen des échantillons prélevés sur ces 5 parcelles est proche de celui obtenu habituellement avec du bois frais (5350 kWh/t).

Par la suite, on note une diminution significative du PCI, qui atteint 4 % en octobre 2002.

L'humidité des bois chablis laissés sur coupe évoluant suivant la saison, le PCI du bois suit la même tendance. On constate ainsi que les variations

saisonniers d'humidité des chablis influent plus fortement sur la valeur du PCI que la dégradation qualitative du bois (cf. graphique 3).

### Graphique 3 : Evolution du PCI réel (en kWh/ tonne) des bois chablis de pin maritime laissés sur coupe



Il faudra donc tenir compte de ces variations lors de la récolte des bois chablis. En été, le PCI réel est plus élevé, le taux d'humidité des bois chablis étant inférieur.

Le taux de cendres par rapport à la masse anhydre de ces bois chablis est resté stable durant la période de l'étude. Il est compris entre 0,2 et 0,3 %, valeur courante pour du bois frais.

La dégradation des bois dans les parcelles de chablis affecte donc peu le pouvoir calorifique et permet d'envisager leur utilisation à des fins énergétiques.



Arbres chablis fortement dégradés.

## ■ Coûts d'exploitation et de broyage des chablis de pin maritime laissés sur coupe

Les deux scénarios suivants de récolte et de broyage de bois chablis ont été évalués :

- exploitation mécanisée avec tri des chablis, débardage bord de route, **déchetage bord de route** des billons (déchetuse auto-portée de rendement compris entre 20 et 30 tonnes/h), transport des plaquettes sur site.
- exploitation mécanisée avec tri des chablis, débardage bord de route, dépose sur camion et transport des billons sur site, **déchetage sur site** (déchetuse de rendement compris entre 40 et 50 tonnes/h).

### Coûts d'exploitation des chablis

L'évaluation des coûts de récolte a été réalisée sur 4 chantiers de bois chablis répartis en Aquitaine, de faible volume unitaire (volume inférieur à 0,5 m<sup>3</sup>, les coupes de volume supérieur ayant été en grande partie récoltées), et avec des taux de dégâts contrastés.

L'exploitation a été réalisée de façon mécanisée, avec le tri et le façonnage de différents produits de bois vert ainsi que celui de billons destinés à la production d'énergie.

Pour des chablis de faible volume unitaire (0,2 à 0,3 m<sup>3</sup>) le coût de mise bord de route des bois est de l'ordre de **15 €/T verte** soit environ 20 % de plus que pour l'exploitation du bois frais. Ce coût d'exploitation atteint **9 €/T** pour des chablis de 0,4 m<sup>3</sup>, soit 13 % de plus que pour le bois vert.

### Coût total de mise en plaquette

Le calcul des coûts, pour les deux scénarios de déchetage analysés (broyage bord de route et broyage sur site industriel), montre que le broyage sur site industriel est le plus avantageux. Les coûts de broyage et les coûts de transport étant moins élevés, le prix des plaquettes "rendu usine", pour un broyage sur site, est compris entre 20 et 29 € HT la tonne verte.

Avec une hypothèse de pouvoir calorifique moyen des chablis de 2700 kWh/tonne, on obtient les prix de revient de l'énergie pour un broyage sur site compris entre 7 et 11 € par MWh.

**Tableau 3 : Coûts plaquettes rendues usines pour les différents scénarios de déchetage de chablis de volume unitaire inférieur à 0,5 m<sup>3</sup> (€ HT/tonne verte)**

	Déchetage bord de route en € HT/t	Déchetage sur site en € HT/t
Exploitation - Débardage des chablis	9 à 15	9 à 15
Déchetage bord de route	7 à 8	
Transport des plaquettes	9 à 10	
Transport des billons sur parc		7 à 8
Déchetage sur site		4 à 6
<b>Total plaquettes chablis "rendu usine"</b>	<b>25 à 33</b>	<b>20 à 29</b>
<b>Prix de l'énergie en €/MWh</b>	<b>9 à 12</b>	<b>7 à 11</b>

## ■ Conclusion

Pour ces 2 scénarios, ces coûts relativement faibles s'expliquent par un prix d'achat de bois chablis nul et par l'utilisation pour l'exploitation, le transport et le broyage, de matériels couramment utilisés pour le bois rond.

Ainsi, ce prix de revient est compatible avec une utilisation énergétique dans les chaudières industrielles, pour peu que les frais de transport restent limités.



Exploitation de parcelles chablis.

## Evaluation des capacités actuelles et futures de consommation en bois énergie de l'industrie de la pâte en Aquitaine

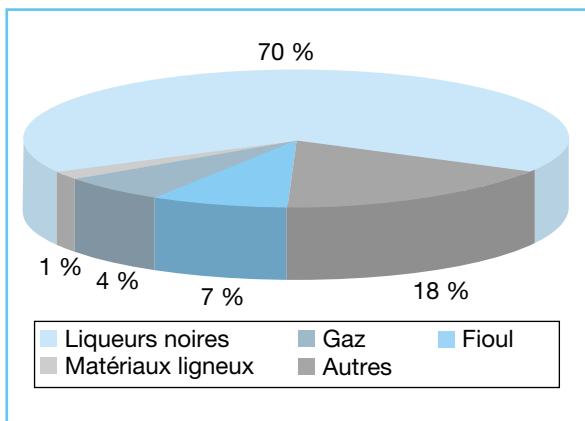
L'industrie papetière a des besoins en énergie thermique importants, pour la fabrication de pâte et surtout pour la fabrication du papier ou du carton (séchage de la pâte).

### ■ Consommation actuelle en énergie thermique

En 2001, la puissance cumulée des chaufferies des usines de pâte en Aquitaine était d'environ 450 MW pour une énergie thermique consommée d'environ 330 000 tonnes équivalent pétrole (tep).

Une grande part de l'énergie thermique est apportée par la combustion des liqueurs noires. Le reste des besoins est couvert principalement par la combustion de matériaux ligneux (17 %), de fioul et de gaz.

#### Graphique 4 : Estimation de la répartition de la consommation moyenne en énergie thermique pour les usines de pâtes d'Aquitaine (d'après questionnaire, résultats 2001)



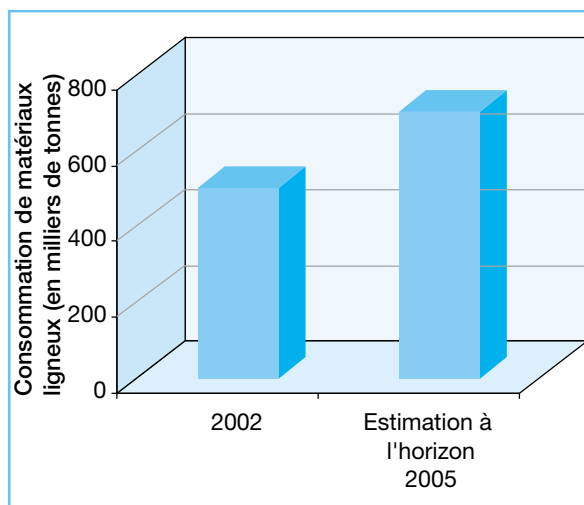
Les matériaux ligneux regroupent les sciures et les écorces principalement obtenues en interne et les broyats de palettes issus du négoce. En 2001, la masse totale de matériaux ligneux employée en énergie dans les usines de pâte en Aquitaine était de **390 000 tonnes** dont 15 % pour les broyats de palettes. L'industrie papetière en Aquitaine a donc une forte capacité à utiliser la biomasse énergie.

### ■ Consommation future en énergie thermique

Tous les industriels interrogés ont l'intention d'accroître fortement la contribution du bois énergie dans leur unité, avec pour certaines unités, des projets de création de nouvelles chaufferies.

A l'horizon 2005, les industriels interrogés estiment que leur consommation de matériaux ligneux en énergie pourrait être comprise entre 500 000 et 700 000 tonnes. L'hypothèse la plus élevée représenterait une augmentation de plus de 70 % par rapport à la situation actuelle.

#### Graphique 5 : Perspective de consommation en matériaux ligneux dans l'industrie papetière en Aquitaine



Les principales raisons évoquées pour justifier cette augmentation de l'approvisionnement en bois énergie sont d'une part **d'ordre environnemental** (augmentation de la consommation d'énergie renouvelable, réduction des émissions de CO<sub>2</sub> fossile) et d'autre part d'ordre **économique** (diminution de la consommation de fuel et de gaz, production d'électricité par co-génération).

Dans un premier temps, certains industriels pensent pouvoir utiliser les bois chablis pour augmenter leur consommation de matériaux ligneux (entre 50 000 et 100 000 tonnes). A terme, un nouveau complément d'approvisionnement sera nécessaire, il sera peut-être constitué par des rémanents de chantiers d'exploitation de pin maritime.

## CONCLUSION

Les chablis de la tempête de décembre 1999 laissés sur coupe se sont relativement bien conservés d'un point de vue énergétique, leur pouvoir calorifique s'est faiblement dégradé.

L'exploitation des chablis dégradés, en effectuant un tri parmi du bois vert, est plus coûteuse que celle du bois sur pied (entre 13 et 19 %). L'utilisation d'une chaîne de mobilisation adaptée (exploitation et transport de bois rond puis broyage sur site industriel) permet d'obtenir un coût de plaquettes "rendu usine", compris entre 20 et 29 € HT la tonne verte, prix compatible avec l'utilisation du bois énergie dans les chaudières industrielles.

Les industriels papetiers du massif aquitain ont affiché une forte volonté de développement de leur consommation de bois énergie. La ressource en bois chablis étant limitée, d'autres sources d'approvisionnement en biomasse d'origine forestière devront être mobilisées afin que cette volonté de développement puisse se concrétiser.

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier de :

**ADEME**



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie

REGION



AQUITAINE

### Pour en savoir plus

**CUCHET E. (2003)**

"Récolte de rémanents pour le bois énergie avec le FIBERPAC"

AFOCEL, Informations-Forêt n°669

**LAURIER JP, POUET JC. (1998)**

"Bois-énergie : le déchiquetage en forêt "

Guide ADEME, collection "connaître pour agir" 111 p.



Chaufferie biomasse industrielle.

