

séchage du bois et énergie

SOMMAIRE

Edito	19
Installer des chaufferies bois dans les scieries	20
Le séchoir, consommateur d'énergie	20
Bien choisir son énergie	22
Séchage et économies d'énergie	25
La "machine-séchoir" et l'énergie	26
Autres processus de séchage et opérations qui lui sont liées ou assimilées	27

Le 18^e Cahier du Bois Energie

fait suite aux numéros suivants, parus entre 1992 et 2001 :

- 1 - Le chauffage collectif urbain (20 juin 1992)
- 2 - Les chaudières turbo-bois (14 novembre 1992)
- 3 - Les cheminées à foyer fermé (24 avril 1993)
- 4 - Des opérations exemplaires (14 janvier 1995)
- 5 - Le chauffage domestique au bois (1^{er} avril 1995)
- 6 - Le bois énergie dans les Pays de la Loire... et à l'étranger (4 novembre 1995)
- 7 - La valorisation des sous-produits du bois (3 février 1996)
- 8 - Approvisionnement des chaufferies (20 avril 1996)
- 9 - Plan bois énergie et développement local (2/9 mai 1998)
- 10 - Cogénération et bois énergie (24/31 octobre 1998)
- 11 - Le bois de feu dans les maisons individuelles (20 mars 1999)
- 12 - Les réseaux de chaleur au bois (18 mars 2000)
- 13 - Aspects du chauffage domestique au bois (15/22/29 juillet 2000)
- 14 - Le bois énergie sur la toile : les sources d'information accessibles sur Internet (6 janvier 2001)
- 15 - Chauffage et séchage à partir des connexes et des déchets ligneux dans les industries du bois (12 mai 2001)
- 16 - De la matière première aux produits élaborés (8 septembre 2001)
- 17 - Les exploitants de chauffage et le développement du bois énergie (15-22-29 décembre 2001)

ÉDITO

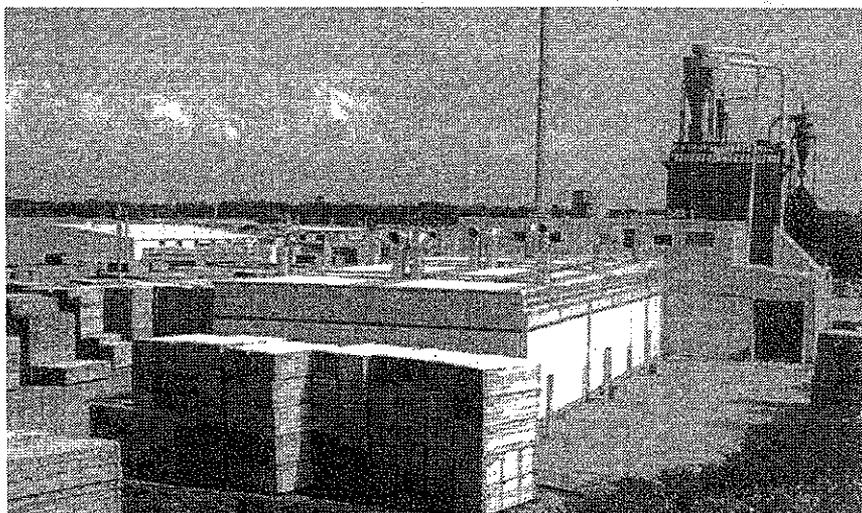
Nous avons choisi de revenir pour l'approfondir, sur le sujet, déjà abordé dans le cahier n° 15, du séchage du bois et des opérations qui lui sont liées ou assimilées.

Bien que les professionnels de la transformation du bois soient conscients des enjeux de l'opération séchage, le choix des matériels, leur conduite et les aspects technico-commerciaux qui en découlent ne sont pas toujours considérés avec la même attention que pour d'autres investissements.

Pourtant, le bon choix et la bonne utilisation d'une énergie ont des conséquences qui vont bien au-delà du seul prix de revient du mètre cube de bois séché. Prenons un exemple : un séchoir à bois équipé d'un générateur de trop faible puissance calorifique entraîne des risques graves en termes de qualité et de temps de séchage inadapté à certaines essences, même si la consommation d'énergie par cycle sera similaire à celle d'un séchoir disposant d'une plus forte puissance calorifique.

Au moment des choix d'investissement, l'entreprise doit par ailleurs anticiper sur de possibles évolutions. Ne pas dire par exemple : "Mon combustible bois ne me coûte pas cher ; donc, je néglige l'isolation". Si les besoins et la capacité de séchage augmentent, on s'apercevra alors que la chaudière est trop "juste". Une bonne isolation, dès le départ, aurait peut-être permis d'alimenter un ou deux séchoirs supplémentaires sans changer la chaudière !

François More-Chevalier
et Gérard Gandon,
Cabinet Olergie,
Membres de la Société des Experts Bois.



Séchoir à bois

Installer des chaufferies bois dans les scieries

LE CONTEXTE ACTUEL

Selon les dernières estimations, le bois énergie représente aujourd'hui en France environ 4 % de la consommation énergétique primaire, soit 9,8 millions de tep par an (1), dont 90 % dans le seul chauffage domestique.

Près de 1 million de tep (environ 4 Mm³/an) sont consommées par l'industrie chaque année grâce notamment à un parc de plus de 1.000 chaufferies bois industrielles. Ces chaufferies se retrouvent à plus de 95 % dans l'industrie du bois au sens large, c'est-à-dire, d'une part, dans les industries de première transformation (sciage, tranchage et déroulage), et d'autre part, dans les industries de seconde transformation (menuiserie, parqueterie, ameublement, pâte à papier, panneaux et contre-plaqué).

Le développement de ce secteur s'est poursuivi et accru avec la mise en place du programme bois énergie (moins de 70 chaufferies réalisées en cinq années pendant la période 1994-1998, puis une moyenne de 50 unités installées par an depuis 1999). L'accroissement actuel du parc de chaufferies et des puissances installées dans l'industrie du bois est de 5% par an.

PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT ET ÉVOLUTIONS CONJONCTURELLES

Le rythme actuel des investissements chaque année (100 chaufferies collectives/tertiaires et 50 chaufferies industrielles) semble durable, mais toute

Equiper les séchoirs de chaudières à bois

A ce jour, le secteur de la scierie française est encore très largement sous-équipé en séchoirs (et chaufferies bois), notamment les scieries résineuses. Selon le CTBA, les scieries de feuillus seraient les mieux équipées (40 à 50 % des scieries de chêne, 30 à 40 % des scieries de hêtre), alors que le taux d'équipement pour les scieries résineuses se situerait dans une fourchette de 10 à 15 %, dans un contexte où la demande en bois secs augmente.

Pour aller plus loin, il est nécessaire de mener une réflexion avec les industriels du bois, notamment pour envisager un développement ciblé et efficace de l'énergie bois associée au séchage.

Les émissions de carbone évitées grâce aux chaufferies bois installées dans les scieries françaises devraient ainsi permettre à ce secteur de faire valoir son rôle majeur dans le plan national de lutte contre le changement climatique (PNLCC).

évolution de la conjoncture énergétique peut le ralentir ou l'accélérer. La conjonction du programme bois énergie, aidé financièrement par l'Etat et les collectivités, avec un prix des énergies fossiles soutenu, et le contexte de la lutte contre les gaz à effet de serre, constituent un environnement favorable au développement du marché des chaufferies bois industrielles.

L'évolution du prix des énergies fossiles et du cours du dollar, la concurrence du gaz et de l'électricité, les démarches d'engagement volontaire projetées par les grandes entreprises, et les règles en préparation fixant un objectif de production et un prix de rachat de l'électricité produite à partir d'énergies renouvelables, sont autant de paramètres qui pèsent sur les équilibres économiques de la filière bois/biomasse énergie. Il en sera de même si les échanges de permis d'émission de carbone sont institués à la suite des accords de Kyoto et de Marrakech.

Jean-Christophe Pouët,
Direction de l'Agriculture et des Bioénergies,
Ademe-Angers

(1) 1 tep (tonne équivalent pétrole) = 11.600 kWh.

Le séchoir, consommateur d'énergie

POURQUOI SÉCHER LE BOIS ?

Le bois contient beaucoup d'eau. Dans un séchoir contenant 100 m³ de planches de chêne frais de sciage, il y a, au début du cycle, environ 50 tonnes d'eau qu'il faudra d'abord réchauffer puis évacuer, en majeure partie, au cours du séchage.

Il est très important de mesurer correctement cette masse d'eau ; or, les

humidimètres usuels sont peu précis au-dessus de 35%, ce qui induit habituellement une erreur importante d'appréciation. Une partie de l'eau a tendance à s'évacuer assez facilement - à couler même parfois - pendant et juste après le sciage (le phénomène est très prononcé par exemple pendant le déroulage) ; en revanche, plus le bois sèche, plus l'eau a du mal à sortir du bois.

On doit donc fournir de l'énergie calorifique au bois humide pour en évacuer l'eau. Si le soleil apporte cette énergie au bois lorsqu'il sèche à l'air libre, dans un séchoir, ce sont les batteries de chauffe, les résistances ou le condenseur dans le cas d'une pompe à chaleur (PAC), qui apportent l'énergie.

Au cours d'un cycle complet de séchage, l'énergie calorifique sert à :

Essence	Taux d'humidité* (%)	Quantité (litres)
Chêne	80	520
Chêne	25	163
Pin	150	680
Pin	25	115

* sur masse anhydre.

Tableau 1 : Quantité d'eau contenue dans 1 m³ de bois.

Tableau 2 : Moyens de chauffage utilisés pour apporter l'énergie calorifique dans les différents types de séchoirs.

Traditionnel	Pompe à chaleur	Sous-vide
Batteries de chauffe - eau chaude - huile chaude - vapeur	(en complément du condenseur) Batteries de chauffe (assez peu utilisé)	Batteries de chauffe Plaques chauffantes
Résistances électriques (effet Joule, très peu utilisé)	Résistances électriques la plupart du temps	ou Résistances électriques
Brûleur gaz : - direct - indirect		

Tableau 3 : Comparaison entre les sources d'énergie disponibles.

Energies	Avantages	Inconvénients
Sous-produits ligneux	- économie - bonne façon d'utiliser les sous-produits de fabrication - intéressant pour grosses puissances	- investissements lourds et mobilisation du combustible à prévoir - point sensible : maîtrise des périphériques de la chaudière
Gaz	- toutes puissances - possibilité de chauffage direct - simplicité d'utilisation	- encombrement d'une citerne sauf si gaz naturel disponible - coût fluctuant
Fioul	- très répandu et déjà très utilisé - toutes puissances	- plus polluant que le gaz - coût fluctuant
Electricité	- facile à mettre en œuvre - universelle pour les différents types de séchoirs (faibles puissances en séchage traditionnel)	- souvent plus coûteux en exploitation - mal adaptée à la production d'énergie calorifique pour les puissances importantes
Bi-énergie	- bien adaptée en complément d'une chaudière utilisant des sous-produits ligneux, par exemple (gaz + bois) - possibilité d'économies d'énergie	- installation plus coûteuse et plus compliquée

- réchauffer l'intérieur de la cellule, le matériel installé et le bois à sécher ;
 - vaporiser l'eau émise pour l'humidification ;
 - faire migrer l'eau contenue dans le bois et l'évaporer ;
 - compenser les pertes thermiques à travers le sol et les parois ;
 - réchauffer l'air qui entre dans la cellule en renouvellement de l'air humide qui emporte l'eau extraite du bois vers l'extérieur.
- Outre l'énergie calorifique, un séchoir consomme de l'énergie électrique pour actionner les ventilateurs :
- de brassage dans tous les types de séchoirs,
 - de distribution du flux d'air principal dans les séchoirs PAC,
 - d'extraction par les clapets dans certaines cellules.

Pour extraire du bois 1 litre d'eau au cours du séchage, il faut fournir habituellement, en moyenne :

- 1,2 à 1,5 kWh en séchage traditionnel ;
- 0,6 à 1,0 kWh en séchage par pompe à chaleur.

LES ÉNERGIES DISPONIBLES POUR LE SÉCHAGE DU BOIS

Le **tableau 3** présente les avantages et les inconvénients des différentes énergies traditionnellement disponibles pour le séchage du bois.

LA PART DE L'ÉNERGIE DANS LE COÛT DU SÉCHAGE

La répartition des coûts de l'énergie calorifique et de l'énergie électrique a été étudiée pour deux exemples réels (**tableaux 4 à 7**) :

- un chargement de sapin dans un séchoir traditionnel ;
- un chargement de chêne dans un séchoir à pompe à chaleur.

	Séchoir traditionnel (air chaud climatisé)	Séchoir à pompe à chaleur
Température maxi (°C)	70	55
Chargement :		
Essence	Sapin	Chêne
Volume (m³)	50	70
Épaisseur (mm)	27	27
Taux d'humidité (%)	bois séché de 70 à 10	bois séché de 50 à 9
Quantité d'eau évaporée (litres)	13.500	18.665
Compresseur (kW)	/	22
Chauffage (auxiliaire pour la PAC)	Batteries de chauffe (eau à 95°C)	Résistances électriques
Ventilateurs de brassage	Sans variateur de vitesse	Avec variateurs de vitesse

Tableau 4 : Paramètres pris en compte.

	Séchoir traditionnel		Séchoir à pompe à chaleur	
	En kWh	%	En kWh	%
Réchauffage du séchoir et du bois	1.450	9	875	5
Migration et évaporation de l'eau et réchauffage de l'air renouvelé	12.500	72	8.050	46
Compensation des pertes thermiques	1.440	8	1.225	7
Ventilation flux d'air PAC	/		1.350	8
Ventilation de brassage	1.880	11	6.000	34
Total	17.270	100	17.500	100

Tableau 5 : Énergie consommée par usages.

	Séchoir traditionnel		Séchoir à pompe à chaleur	
		%		%
Consommation par litre d'eau évaporée (kWh/l)	1,28		0,94	
Consommation par m³ séché (kWh/m³)	345		250	
Énergie apportée par les batteries de chauffe (kWh)	15.390	89	/	
Énergie électrique (kWh)	1.880	11	17.500	100

Tableau 6 : Synthèse des consommations.

	Séchoir traditionnel (50 m³ de sapin 27mm)			Séchoir PAC (70 m³ de chêne 27mm)		
	Énergie consommée (kWh)	Coût (€)*			Énergie consommée (kWh)	Coût électricité (€)
		Fioul	Gaz	Bois		
Réchauffage du séchoir et du bois	1.450	53,7 8%	78,3 8%	21,8 6%	875	52,5 5%
Migration et évaporation de l'eau et réchauffage de l'air renouvelé	12.500	462,5 68%	675,0 72%	187,5 55%	8.050	483,0 46%
Compensation des pertes thermiques	1.440	53,3 8%	77,8 8%	21,6 6%	1.225	73,5 7%
Ventilation flux d'air PAC					1.350	81,0 8%
Ventilation de brassage	1.880				6.000	360,0 34%
Total	17.270				17.500	1.050,0
Énergie apportée par les batteries de chauffe	15.390	569,5 84%	831,1 88%	230,9 67%		
Énergie électrique	1.880	112,8 16%	112,8 12%	112,8 33%	17.500	1.050,0 100%
Total	17.270	682,3 100%	943,9 100%	343,7 100%	17.500	1.050,0 100%

* Le but du présent dossier étant de faire ressortir la répartition des frais, les modes de calcul des différents postes n'ont pas été détaillés.

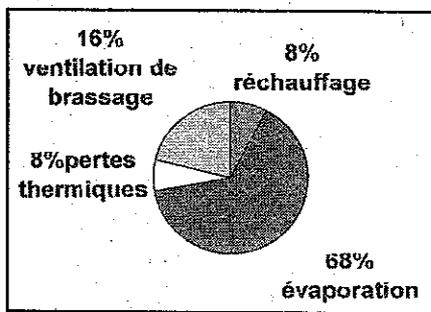
Tableau 7 : Répartition des coûts de l'énergie selon le combustible utilisé.

Les coûts de référence utilisés pour le tableau ci-dessus sont les suivants (en cts d'euros) :

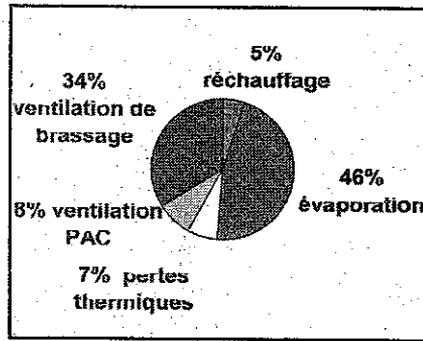
- Electricité : 6 cts € / kWh
- Energie produite par une chaudière :
 - Fioul : 3,7 cts € / kWh
 - Gaz G.P.L. : 5,4 cts € / kWh
 - Bois : 1,5 ct € / kWh

* Annuités d'amortissement et frais de fonctionnement inclus. Pour le bois, voir exemples de calculs au chapitre "Bien choisir son énergie".

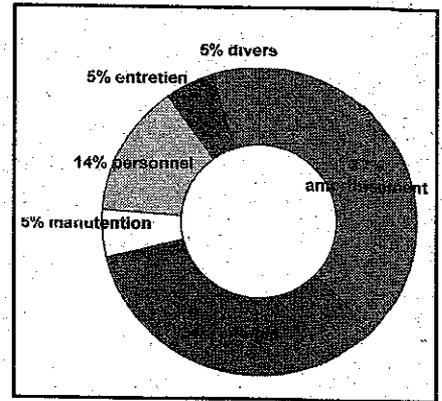
Il ressort de cette analyse que la répartition des coûts des différents postes consommateurs d'énergie varie de façon non négligeable selon les capacités et les types de séchoirs, les essences et les épaisseurs de bois, et bien sûr selon l'énergie utilisée et les moyens de la produire.



Répartition des coûts de l'énergie dans un séchoir traditionnel au fioul (50 m³ sapin).



Répartition des coûts de l'énergie dans un séchoir PAC (70 m³ chêne).



Les éléments du prix de revient du séchage.

PART DE L'ÉNERGIE DANS LE PRIX DE REVIENT DU SÉCHAGE

L'énergie vient en seconde position parmi six postes classés par ordre d'importance décroissante :

Postes	Contenu	%
Amortissement de l'investissement (séchoir) et frais financiers	Matériel, frais de transport, de montage, de mise en route, de génie civil et de raccordements.	35 à 40
Energie	Energie calorifique et énergie électrique.	30 à 40
Frais de personnel	Temps passé par le responsable, le conducteur du séchoir et les personnes qui assurent l'empilage, le baguetage, le chargement et le déchargement.	10 à 15
Manutention	Coût de l'engin nécessaire au chargement et au déchargement du séchoir ; varie en fonction des essences (feuillus ou résineux) et des épaisseurs.	5
Frais divers	Location de terrain, assurance, impôts, part de frais généraux...	3 à 5
Entretien et renouvellement du matériel	Varié selon le type de séchoir (3 à 5% du montant de l'investissement pour un séchoir traditionnel).	3 à 5

Bien choisir son énergie

Les produits connexes sont évidemment une source d'énergie à privilégier. Dans certains contextes, on peut également faire appel à d'autres sources d'énergie, telles que le gaz, le fioul et l'électricité.

LES PRODUITS CONNEXES

Les produits connexes utilisés pour produire de l'énergie apparaissent la plupart du temps sous quatre formes : écorces, sciures, copeaux de rabotage et plaquettes.

Les écorces produites en scierie sont généralement très humides et chargées d'éléments plutôt gênants pour la production d'énergie tels que du sable, des cailloux et autres particules (métalliques par exemple). Elles peuvent être envoyées, soit directement vers une chaudière par bande transporteuse, soit dans une remorque pour être déposées sur un tas ou livrées chez un consommateur spécialisé en vue de la production d'énergie ou la fabrication d'amendements.

Les sciures ont des caractéristiques énergétiques très différentes suivant qu'elles

sont vertes (produites en scierie) ou sèches (produites à partir de bois sec dans l'industrie de 2^e transformation). A l'état vert, elles peuvent être mélangées aux écorces pour alimenter une chaudière ou



Chaudière bois.

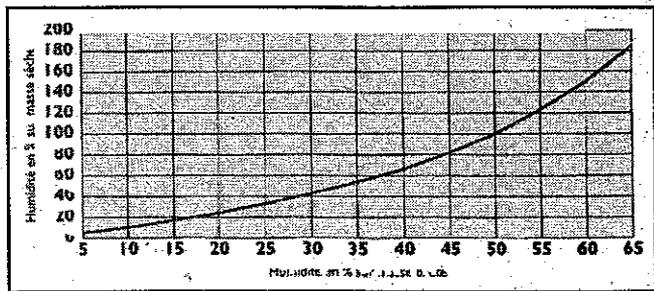
évacuées comme les écorces chez un tiers. A l'état sec, leur pouvoir calorifique est bien meilleur. Dans le cas d'une utilisation énergétique, le type de foyer varie selon que les sciures sont utilisées seules ou en mélange avec d'autres produits connexes dans des proportions variables.

Les copeaux de rabotage constituent un très bon combustible dans la mesure où ils sont, la plupart du temps, très secs. La proportion de poussières contenues dans ces copeaux doit être prise en compte pour définir le principe d'alimentation de la chaudière (risque d'explosion).

Les plaquettes, obtenues par déchiquetage (à couteaux ou à marteaux), peuvent provenir de toutes sortes d'approvisionnements (forêts, industries de 1^{ère} ou 2^e transformation, unités de conditionnement de bois de rebut...) ; elles peuvent être composées de différentes essences de bois à des taux d'humidité, eux aussi, très variables.

Nature	E %	H %	P.C.I. (kWh/kg)
Ecorces de pin vertes	50	100	2,1
Broyats de branches verts	45	80	2,2
Ecorces de feuillus vertes	45	80	2,7
Plaquettes de bois résineux ressuyées	38	60	2,9
Broyats de branches ressuyées	29	40	3,2
Plaquettes de bois ressuyées	29	40	3,5
Broyats de palettes secs à l'air	20	25	3,7
Sciures ou copeaux secs	13	15	4,2

P.C.I. des produits connexes courants.



Correspondance humidité sur masse sèche/masse brute.

LE PCI DES PRODUITS CONNEXES

Le P.C.I. (pouvoir calorifique inférieur du bois) dépend étroitement de son taux d'humidité. Ce taux définit la masse d'eau contenue dans le bois, rapportée, soit à sa masse brute (taux d'humidité sur brut : E %), soit à sa masse anhydre (taux d'humidité sur sec : H %). C'est cette dernière définition qui est en général utilisée dans l'industrie du bois. A titre indicatif, le tableau ci-dessus indique les pouvoirs calorifiques des produits connexes couramment utilisés.

LES AUTRES ÉNERGIES

Le gaz. Le gaz est commercialisé sous deux formes :

- le gaz naturel distribué par le réseau G.d.F., constitué essentiellement de méthane ;
- le gaz de pétrole liquéfié (GPL), distribué par les compagnies pétrolières et essentiellement constitué de propane ; en stockage, on peut utiliser une cuve enterrée ou apparente (plus économique et plus facile à changer).

Actuellement le gaz est utilisé par les fabricants de séchoirs à bois selon trois modes :

- en chauffage direct ;
- en chauffage indirect par l'intermédiaire d'une chaudière ;

- en chauffage indirect sans chaudière (voir plus loin, la "machine-séchoir" et l'énergie).

Le fioul. Le fioul est un combustible très usuel et disponible partout. Son utilisation se fait par l'intermédiaire d'une chaudière beaucoup plus compacte que dans le cas des sous-produits ligneux ; elle ne nécessite pas de périphériques particuliers et demande donc très peu d'entretien.

L'électricité. L'électricité est utilisée de toutes façons :

- pour la ventilation et les différentes commandes (clapets, vannes automatiques, ordinateur...);
- pour tous les procédés de séchage ;
- comme énergie principale dans les séchoirs à déshumidification par pompe à chaleur.

CAPACITÉ DE SÉCHAGE ET CHOIX D'UNE ÉNERGIE

Petites capacités. Compte tenu du supplément d'investissement d'une chaudière à bois par rapport à une chaudière au gaz ou au fioul, l'énergie bois ne se justifie, sur le plan économique, qu'à partir d'une capacité minimale de séchage, habituellement fixée à environ 300 m³ pour les feuillus et 200 m³ pour les résineux.

Dans le cas particulier où une entreprise produirait beaucoup de sous-produits et pourrait revendre de l'énergie (par exemple à un réseau de chaleur situé à proximité), l'utilisation de cette énergie bois pourrait

alors bien sûr présenter un intérêt, même pour un séchoir de faible capacité. Il en est de même si une entreprise peut acheter de l'énergie produite par une chaudière bois voisine (accès à un réseau de chaleur).

Pour les petites capacités, lorsque l'énergie bois n'est pas retenue, le choix de l'énergie dépendra :

- d'abord, du type de séchoir choisi selon les critères définis précédemment dans les cas extrêmes : pompe à chaleur pour feuillus peu épais et taux d'humidité initial élevé ; sous-vide pour feuillus épais, taux d'humidité initial faible et délais courts ;
- ensuite, des énergies déjà disponibles, des essences, des épaisseurs et des taux d'humidité du bois pour les cas intermédiaires.

Grosses capacités. Dans une entreprise qui génère beaucoup de sous-produits (scierie ou menuiserie industrielle par exemple), la chaudière bois se justifie pleinement pour des capacités de séchage de plusieurs centaines de m³ ; c'est encore plus vrai si l'énergie peut trouver d'autres utilisations (chauffage des locaux, production d'électricité, étuvage, chauffage de fours ou de presses).

Lorsque aucun sous-produit n'est disponible (cas qui se rencontre souvent dans le séchage à façon par exemple), l'utilisation de plusieurs énergies dans différents types de séchoirs (électricité – pompe à chaleur ou sous-vide, gaz ou fioul – traditionnel) offre une souplesse intéressante pour jongler avec les nombreuses essences, les différentes épaisseurs, les taux d'humidité variés et les délais divers que demande la clientèle.

Capacités moyennes. Pour des capacités comprises entre 100 m³ et 400 m³ environ, seule une étude objective très complète et approfondie de tous les paramètres techniques et économiques de l'entreprise permettra de faire un choix judicieux, lequel s'avère parfois différent des a priori sur le projet.

Énergie	Conditionnement	P.C.I.	Procédés de séchage
Sous-produits ligneux	- vrac - tas	2,1 à 4,2 kWh/kg	- traditionnel - sous-vide
Gaz naturel	- branchement GDF	PCI = 0,90 x PCS PCI = 10 kWh/Nm ³	- traditionnel - sous-vide
Gaz GPL	- citerne (propane)	PCI = 0,924 x PCS PCI = 25,4 kWh/Nm ³ PCI = 12,78 kWh/kg	- traditionnel - (sous-vide)*
Fioul	- cuve	11,92 kWh/kg (M vol. = 0,83 kg/l)	- traditionnel - (sous-vide)*
Électricité	- branchement EDF		- (traditionnel)* - pompe à chaleur - sous-vide

* Procédé peu employé

Caractéristiques techniques de chaque énergie et procédés de séchage associés.

LE COÛT DE L'ÉNERGIE

Les énergies fossiles et l'électricité. Il n'est bien sûr pas possible d'indiquer précisément les tarifs de l'électricité, du fioul ou du gaz, qui sont fonction d'un nombre important de facteurs à étudier au cas par cas :

- différents tarifs électricité (été, hiver, pointes...), gaz naturel ou GPL : quantités consommées, situation géographique et conditions de livraison, volumes et conditions de stockage pour le GPL (cuve enterrée ou en extérieur),

- fioul utilisé seulement pour le séchage ou pour d'autres usages (volumes et donc prix différents).

Les prix du gaz et du fioul ont subi de nombreuses fluctuations ces derniers temps ; le réajustement des tarifs au cas par cas ou le lissage des variations montrent que, en pratique, il est difficile d'appliquer une règle générale.

Les tarifs utilisés pour les calculs de cas réels cités dans ce cahier donnent les ordres de grandeur suivants pour janvier 2002 :

- Electricité : 5,5 à 9,5 cts €/kWh,
- Fioul : 3,2 à 3,5 cts €/kWh,
- Gaz G.P.L. : 4,5 à 5,1 cts €/kWh.

L'énergie produite à partir de produits connexes du bois. Le prix de l'énergie fabriquée à partir de produits connexes du bois varie, entre autres, en fonction des facteurs suivants :

- valorisation ou coût des sous-produits ligneux : ceux-ci pourraient-ils être vendus et à quel prix ? (certains, comme les écorces par exemple, sont parfois vendus localement jusqu'à 20€/tonne) ; les sous-produits ligneux sont-ils directement utilisables ou faut-il les déchiqueter auparavant ? combien coûte leur transport ? (parfois quelques dizaines de mètres de bande transporteuse suffisent) ; y a-t-il des ruptures de charge et / ou des coûts de stockage ?

Exemples de calcul de prix de revient de l'énergie calorifique produite par des chaudières bois de 0,7 et 1,8 MW alimentant des séchoirs.

Descriptif		Chaudière de 0,7 MW	Chaudière de 1,8 MW
Capacité séchoirs	Feuillus (3,5 kW/m³)	200 m³	500 m³
	Résineux (9,5 kW/m³)	70 m³	180 m³
Energie consommée (1)	Feuillus (kWh)	936.000	2.340.000
	Résineux (kWh)	2.410.000	6.199.200

Hypothèses :
 (1) Energie consommée (par le séchoir de 200 m³ pour les feuillus et le séchoir de 70 m³ pour les résineux) :
 - Feuillus 27mm : 10 cycles / an x 200 m³ / cycle x 390 l / m³ x 1,2 kWh / l = 936 000 kWh
 - Résineux 27mm : 70 cycles / an x 70 m³ / cycle x 410 l / m³ x 1,2 kWh / l = 2 410 800 kWh
 - Feuillus 27mm : 10 cycles / an x 500 m³ / cycle x 390 l / m³ x 1,2 kWh / l = 2 340 000 kWh
 - Résineux 27mm : 70 cycles / an x 180 m³ / cycle x 410 l / m³ x 1,2 kWh / l = 6 199 200 kWh

	Chaudière de 0,7MW		Chaudière de 1,8 MW	
	sans aide	aide(5) 15 %	sans aide	aide(5) 15 %
Investissement (K€) :				
- chaudière	122		230	
- génie civil et bâtiments	46		61	
- raccordements et divers	31		46	
Total	199	175,9	337	266,6
Annuité d'amortissement(2) (K€)	31,2	27,6	43,5	34,4
Entretien annuel(3) et gros entretien (4) (K€)	6,1	6,1	10,9	10,9
Coût annuel total (K€)	37,3	33,7	54,4	45,3
Coût du kWh produit (cts €)	feuillus	4,0	3,6	2,3
	résineux	1,5	1,4	0,9

N.B. Le coût éventuel des produits connexes bois n'est pas pris en compte dans ce calcul.

Hypothèses :

- (2) Chaudière 0,7 MW : 6 % sur 8 ans.
Chaudière 1,8 MW : 8 % sur 12 ans.
- (3) Chaudière 0,7 MW : 150 heures / an x 16 €/h = 2 400 €.
Chaudière 1,8 MW : 250 heures / an x 16 €/h = 4 000 €.
- (4) Gros entretien = 3% du prix d'achat de la chaudière.
- (5) Les aides sont accordées sur le surcoût d'investissement d'une chaudière bois par rapport à une chaudière fioul ou gaz. Le plafond de l'aide est de 15 %.

Prix de revient au kWh.

- puissance et performances de la chaudière ;
- rendement réel de la chaudière sur toute l'année ; taux et variété d'utilisation de la chaudière (séchoirs seuls, séchoirs et production d'électricité, chauffage des locaux, chauffage de fours ou de presses...) ;
- coût de l'entretien de la chaudière et des équipements périphériques ;
- coût de la main-d'œuvre ;
- contraintes locales particulières (pollution, bruit, manque de place...) ;

- montant des annuités d'amortissement du matériel suivant le mode de financement initial et les aides éventuellement accordées.

Le **tableau ci-dessus** donne deux exemples de calculs de prix de revient du kWh bois dans le cas d'une chaudière n'alimentant que des séchoirs. Les résultats apparaissent très différents selon les volumes traités, la puissance des chaudières et les essences.

LE BOIS

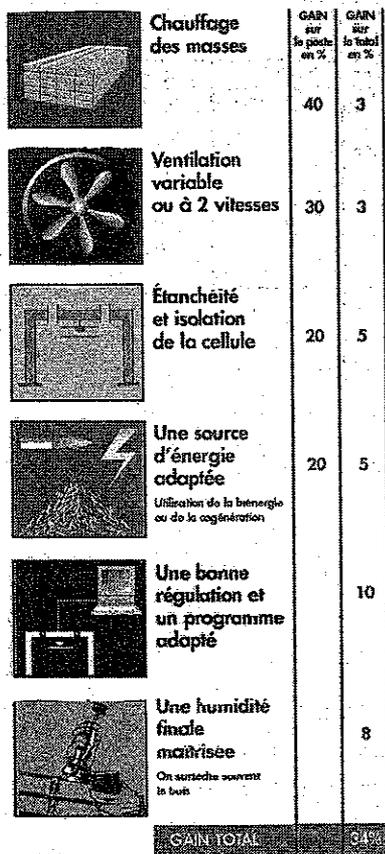
l'hebdomadaire de la filière bois
votre support n° 1

3, rue Claude-Odde - B.P. 523 - F 42007 SAINT-ETIENNE Cedex 1 - Téléphone 04.77.74.33.99 - Télécopie 04.77.93.11.26.

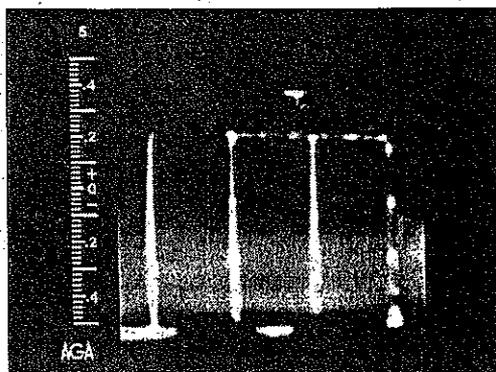
Séchage et économies d'énergie

On l'a vu, le séchoir est consommateur d'énergie. Il faut donc, lorsqu'on le conçoit, le fabrique et l'implante, penser à limiter cette consommation. La limitation de la consommation d'énergie n'entraîne pas de rallongement des temps de séchage ; bien au contraire, elle correspond souvent à une amélioration de la qualité.

On trouvera ci-après plusieurs axes de réflexion dont les résultats sont résumés dans le schéma ci-dessous :



L'isolation des cellules. Un séchoir, c'est d'abord un bâtiment dans lequel règnent des niveaux de température relativement importants (en moyenne de 40 à 80 °C). Les parois et le sol doivent être particulièrement isolés. Des épaisseurs d'isolant, type laine de verre ou de roche, de 80 à 150 mm, sont courantes en fonction des températures extérieures de l'endroit où le séchoir est



Paroi Nord

Vue n°	3
Niveau	15
Echelle	5
Diaphragme	1,8
Température (°C)	
blanc	~ 30
gris clair	} 12° à 15
gris moyen	
gris foncé	
noir	~ 12

Thermographie infrarouge d'une paroi de séchoir. Distance objet : 5 à 10 m. Conditions climatiques : nuit, vent faible, température 11°C. Remarque la charpente qui apparaît en blanc (ponts thermiques).

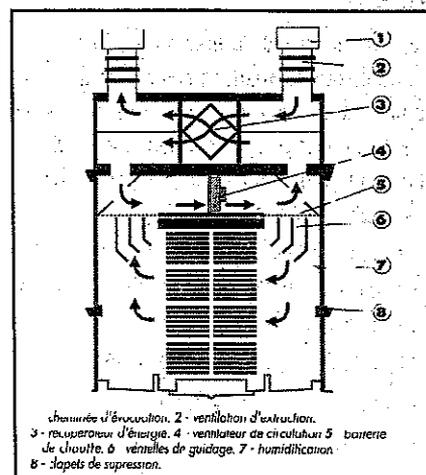
implanté. Il faut, lors de la conception, penser à éviter les ponts thermiques importants (jonction des panneaux sur la structure). La thermo-photographie permet de les repérer (photo ci-dessus).

Si l'on pense souvent à bien isoler les parois, on oublie parfois le sol, à la charge de l'utilisateur. L'utilisation, par exemple, de graviers de scories peut réduire grandement les pertes.

L'étanchéité. La bonne étanchéité d'une cellule est indispensable pour pouvoir maintenir les conditions climatiques de séchage. Une étanchéité insuffisante, particulièrement au niveau des portes, entraîne aussi des déperditions thermiques parfois importantes.

La récupération d'énergie sur les clapets. On sait que le séchoir traditionnel, de loin le plus utilisé, évacue l'eau qui sort du bois par des cheminées appelées "clapets" dans le jargon des sécheurs. Lorsque ces clapets s'ouvrent, ce sont non seulement des litres d'eau qui s'échappent mais aussi de la chaleur (voir tableau récapitulatif).

Pour des essences à séchage rapide qui permettent l'utilisation de températures élevées, il peut être intéressant d'équiper les cheminées de récupérateurs de chaleur, permettant de réchauffer l'air qui entre dans le séchoir avec l'air qui en sort.



Récupération d'énergie sur les clapets d'un séchoir traditionnel, récapitulatif des résultats constatés.

Le schéma ci-dessus explique ce dispositif, avec un exemple vécu à l'appui.

La précision du système de régulation. Les régulations des séchoirs sont plus ou moins performantes et précises, ce qui joue sur la consommation d'énergie. On peut réguler de deux façons :

- en tout ou rien, c'est-à-dire que les vannes ou les moteurs des clapets s'ouvrent à fond lorsqu'on est en dessous de la consigne, et se ferment à fond lorsqu'on a atteint celle-ci. Le résultat est une marche en "dents de scie" qui entraîne pendant 50 % du temps des dépassements de

Energie : gaz en chauffage direct. Essence séchée : pin maritime en avivés. Capacité du séchoir : 30 m ³												
N° de l'opération	Temps séchage (h)	Épaisseur bois (mm)	Eau évaporée (kg)	Eau évaporée (kg/h)	Gaz consommé (kWh PCI)	Gaz par litre d'eau	Electricité consommée (kWh)	Electricité par litre d'eau	Températ. air extérieur (°C)	Taux humidité air extérieur (%)	Gain énergie au récupérateur (% gaz PCI)*	
1	85	32	7 220	84,9	10 773	1,44	1 030	0,14	14,4	92	11	
2	72	27/32	8 600	119,5	11 480	1,33	925	0,11	13,0	98	11	
3	66	27/32	8 920	135,1	11 065	1,24	823	0,09	10,5	86	12	
4	41	27	6 200	151,2	7 743	1,25	569	0,09	5,2	93	13	

* Le gain d'énergie au récupérateur est calculé par la différence d'enthalpie entre l'air entrant dans le récupérateur (donc venant de l'extérieur) et l'air qui en sort (donc entrant dans le séchoir) et qui a été réchauffé par l'air chaud sortant du séchoir. Le récupérateur est muni d'un ventilateur dont on connaît le débit, le temps de marche de ce ventilateur étant enregistré.

Un exemple chiffré

Ce cas concret, qui a nécessité l'intervention d'un consultant spécialiste, concernait du chêne 27 mm dans un séchoir de 100 m³ passant de 60 % à 10 % d'humidité.

Le temps de séchage optimisé pour la qualité recherchée est de 23 jours.

Dépense énergétique (en kWh) avant et après intervention.

	Avant intervention	Après intervention
Préchauffage	5 000	3 000
Evaporation de l'eau	19 000	15 200
Dépêrditions	6 000	4 800
Total énergie calorifique	30 000	23 000
Total énergie électrique (ventilation)	8 000	5 600

En considérant une énergie calorifique produite par le combustible gaz à un coût de 5 cts €/kWh et un kWh électrique à 7 cts €, l'économie réalisée est de 350 € pour le gaz et de 168 € pour l'électricité, soit 5,18 € par m³.

consigne, et donc un rejet de chaleur inutile à l'extérieur ;

- en proportionnel (l'ouverture de la vanne est proportionnelle à la demande d'énergie). Dans ce cas, les vannes recherchent l'ouverture suffisante pour laisser passer la stricte quantité d'énergie nécessaire au process.

Un programme de séchage adapté peut faire réaliser de substantielles économies.

Une ventilation à vitesse variable. Les séchoirs en sont de plus en plus souvent équipés ; dans ce cas, il n'est pas nécessaire de garder la même vitesse tout au long du processus, ce qui est particulièrement intéressant à la fin du séchage où il n'y a plus beaucoup d'eau à enlever au bois.

L'économie sur ce poste peut atteindre 30 à 40 % avec, en outre, une amélioration de la qualité du séchage.

Un bon emplacement du séchoir. Le séchoir doit être implanté en fonction des conditions climatiques (ne pas exposer aux vents dominants par exemple) et de la source de chaleur. Il est évident qu'on aura des pertes si on transporte l'eau chaude ou la vapeur sur de grandes distances.

AGIR SUR LE PROCESSUS POUR CONSOMMER MOINS

Les moyens d'économiser l'énergie que nous venons d'indiquer ci-dessus sont individuellement réduits par rapport aux possibilités résultant d'une optimisation du processus de séchage. Il faut bien en effet

parler ici "d'optimisation", laquelle implique une très bonne connaissance du bois et du séchage. C'est donc par la formation qu'il faut commencer, car les possibilités d'améliorer les temps de séchage et la qualité sont énormes. La conséquence est bien sûr une dépense d'énergie au m³ séché fortement réduite.

Pour ce faire, à partir d'une bonne connaissance des lois du séchage et des possibilités des matériels, il faut reconsidérer les programmes appliqués dans les différentes phases.

Ces prescriptions ne sont que quelques exemples de ce que l'on peut faire pour gagner temps, qualité et énergie.

On trouve actuellement de plus en plus de logiciels de gestion de l'énergie, intégrés aux régulations de séchage, qui aident à optimiser le séchage et permettent par exemple de gérer automatiquement :

- Une source de production de chaleur trop faible pour un ensemble de plusieurs séchoirs.
- Un tarif d'énergie électrique ou gaz.
- La priorité à telle ou telle cellule en fonction des essences qu'elle contient et de la phase de séchage.
- Le ralentissement ou l'accélération de tel cycle de séchage en fonction du délai attendu par le client (interne ou externe).

N.B. Les questions relatives à la gestion de la chaudière (mise en route, pilotage / montée en puissance, régulation) pourront faire l'objet d'un autre article ultérieurement.

En préalable au démarrage du séchage	A-t-on bien préparé le chargement ? Trop de bois dans le séchoir entraîne un rallongement des temps, un séchage hétérogène donc une dépense supplémentaire d'énergie. Attention au mélange des essences et des débits : c'est toujours le bois le plus long et difficile à sécher qui influera sur le déroulement du séchage. S'il y a plusieurs cellules en service, peut-on en démarrer une nouvelle sans entraîner des problèmes pour la chaudière ?
Phase de préchauffage	A-t-on envisagé un pré-séchage à l'air libre ou dans un pré-séchoir adapté ? A-t-on pensé à mettre au séchoir des bois d'humidité initiale voisine ? Ce point est particulièrement important quand on risque de conduire tout le séchage à partir de bois à un taux d'humidité élevé, qui ne représentent peut-être que 10 % du lot. A-t-on bien choisi le niveau de température et d'humidité de l'air ? La réduction de la vitesse de l'air dans cette phase est possible.
Phase de séchage (première partie)	Quel est le niveau de température ? Suivre la perte d'humidité de chaque sonde et pas seulement la moyenne, et modifier en conséquence la valeur de pilotage. Il faut ici une régulation très réactive pour éviter les problèmes dus à un excès d'humidité dans le séchoir.
Phase de séchage (deuxième partie)	Bien choisir l'humidité finale, car le sur-séchage est très pénalisant pour le temps, la qualité et la consommation d'énergie. Ici, on peut monter à des niveaux de température élevés en fin de séchage. A l'arrivée, penser à réduire la température pour préparer la phase d'équilibrage. Ici, la vitesse de l'air peut être réduite.
Phase d'équilibrage	Phase importante mais qui peut être réduite si on l'a préparée en fin de séchage. Conserver une vitesse réduite. Bien adapter le temps à l'essence et à l'épaisseur.
Phase de refroidissement	Phase à gérer selon le climat de la région et la saison. Un bois sec restitue mal sa chaleur ; une longue phase de refroidissement entraîne une consommation inutile d'électricité pour la ventilation.

La "machine séchoir" et l'énergie

LES QUALITÉS THERMIQUES D'UN SÉCHOIR

Pour assurer l'isolation thermique des cellules, les fabricants utilisent différents matériaux isolants dont les performances sont connues. L'isolation d'une paroi est caractérisée par sa résistance thermique, fonction elle-même du coefficient de conductivité thermique de l'isolant et de l'épaisseur de la paroi.

Exemples de résistances thermiques (R) de différentes parois en fonction de l'isolant et de l'épaisseur (en "sandwich alu")*(Unité : m²°C/W).

Epaisseur matériau (mm)	50	100	150	200
Laine de verre	1,25	2,50	3,75	5,00
Mousse de polyuréthane	1,67	3,33	5,00	6,67
Polystyrène expansé	1,43	2,86	4,29	5,71

* La résistance thermique des plaques métalliques est négligeable.

Voici, à titre indicatif, quelques exemples de coefficients de conductivité thermique usuels (ils peuvent varier suivant différentes qualités pour un même matériau) :

- laine de verre : 0,04 W/m °C ;
- mousse de polyuréthane : 0,03 W/m °C ;
- polystyrène expansé : 0,035 W/m °C.

On parle souvent également du coefficient de transmission thermique d'une paroi, qui est l'inverse de la résistance (K = 1 / R).

Pour une cellule de séchoir à bois, un coefficient de transmission thermique de $K = 0,3 \text{ W} / \text{m}^2\text{°C}$ semble un bon compromis, ce qui correspond aux épaisseurs suivantes :

- 150 mm de laine de verre ;
- 100 mm de mousse de polyuréthane ;
- 120 mm de polystyrène expansé.

CHAUFFAGE DIRECT OU CHAUDIÈRE ?

La chaudière. Lorsque l'on parle source d'énergie pour un séchoir, on pense tout d'abord à la chaudière. Que ce soit avec le bois, le gaz ou le fioul, le combustible peut être brûlé dans une chaudière qui va produire ce que l'on appelle un fluide caloporteur : vapeur basse pression ou haute pression, eau chaude ou surchauffée, huile appelée fluide thermique. Ce fluide est transporté vers les séchoirs par un ensemble de tuyauteries, pompes, vannes... La chaudière (y compris cet ensemble de raccords et de transport de l'énergie) a un rendement que l'on peut, en moyenne, estimer à 90 %.

Il y a donc environ 10 % de pertes qui sont plus ou moins pénalisantes selon le coût du combustible.

Le chauffage direct. Dans cette option, on brûle directement le combustible dans le séchoir. L'énergie de combustion est donc utilisée à 100 %. Ce principe, qui s'est développé depuis un peu plus de 10 ans avec le gaz, en Europe, existait déjà aux Etats-Unis, au Canada, en Australie et en Nouvelle Zélande, avec du bois et du fioul. Ce sont les progrès faits sur les brûleurs à gaz qui ont permis de rendre le système plus efficace et plus propre. La comparaison du coût énergétique doit évidemment se faire avec le même combustible ; ainsi, la comparaison chaudière gaz et brûleur direct gaz est assez intéressante et bien sûr à l'avantage de ce dernier. Du strict point de vue du combustible, il est évident que le brûleur direct gaz ne soutient pas la comparaison avec une chaudière à bois.

Pour une comparaison valable et objective des options "chaudière" et "chauffage direct", il faut également intégrer le coût des investissements. On s'aperçoit alors que la taille de l'installation va guider le choix du système : pour un ou deux séchoirs, le brûleur direct à gaz est le plus intéressant ; à partir de trois séchoirs, la chaudière à gaz devient à son tour plus intéressante.

Quant à la chaudière bois, elle devient compétitive pour de plus grosses capacités de séchage (supérieures à 200 ou 300 m³

selon les essences). Compte tenu des variations du coût des énergies, il est difficile de donner des lois générales. Une étude est à faire dans chaque cas en intégrant de nombreux autres facteurs chiffrables ou non chiffrables.

ET LA POMPE À CHALEUR ?

Intérêt de la pompe à chaleur sur le plan énergétique. Dans les séchoirs traditionnels à air chaud climatisé et dans les séchoirs sous-vide, l'eau extraite du bois est évacuée sous forme de vapeur par les clapets, par renouvellement d'air dans le premier cas, et par condensation sur les parois puis par un sas dans le deuxième cas. Cette évacuation d'eau se fait en pure perte et elle est accompagnée de pertes thermiques importantes dans la plupart des cas. C'est de ce point de vue, entre autres, que la pompe à chaleur présente un intérêt énorme sur le plan énergétique dans la mesure où elle permet :

- d'éviter une partie importante des pertes thermiques puisqu'il y a peu d'échange d'air entre l'intérieur de la cellule et l'extérieur ;
- de récupérer l'énergie appelée chaleur latente que libère le phénomène de vaporisation de l'eau à la surface du bois lorsqu'il est repris sous forme de condensation au niveau de l'évaporateur de la pompe à chaleur. Chaque tonne d'eau extraite du bois peut ainsi, en théorie, apporter une énergie calorifique d'environ 690 kWh.

C'est pour cette raison que la pompe à chaleur est la technique qui consomme le moins d'énergie calorifique pour sécher le bois ; pour extraire 1 litre d'eau du bois au

cours du séchage, il faut fournir habituellement, en moyenne :

- 1,2 à 1,5 kWh en séchage traditionnel ;
- 0,6 à 1,0 kWh en séchage par pompe à chaleur.

Autres atouts de la pompe à chaleur.

Deux particularités techniques permettent d'améliorer le rendement énergétique de la pompe à chaleur lorsqu'ils sont mis en œuvre et utilisés de façon correcte :

- un sous-refroidisseur judicieusement inclus dans le circuit frigorifique de la pompe à chaleur apporte les améliorations suivantes : meilleur fonctionnement du détendeur ; augmentation de la " puissance d'extraction " de l'eau d'environ 15 % ; augmentation du rendement énergétique global de la PAC d'environ 10 % ; possibilité d'augmenter la température et donc la vitesse de séchage.

- un évaporateur annexe ou mixte permet, en utilisant une partie du même circuit frigorifique, de chauffer l'intérieur de la cellule (en plus ou à la place des résistances électriques auxiliaires), en récupérant l'énergie (l'enthalpie) de l'air extérieur. Ce dispositif astucieux (la PAC à circuit ouvert) n'est cependant intéressant que lorsque l'air extérieur est chaud et humide. En France, un tel système ne peut fonctionner valablement que 4 à 6 mois par an suivant les régions et n'est guère amortissable qu'au bout de plus de 10 ans. Il se justifie par contre beaucoup plus facilement dans les régions à climat chaud et humide.

Dans cette approche, on doit toutefois prendre correctement en compte le prix de l'électricité (deux fois plus chère que le fioul et quatre fois plus que le bois).

Autres processus de séchage et opérations qui lui sont liées ou assimilées

LES SÉCHOIRS À PLACAGES

Lorsque l'on parle de séchage dans les industries du bois, on pense d'abord "planches" et l'on oublie que dans ce que l'on appelle l'industrie lourde, il y a une importante opération de séchage. C'est le cas du contreplaqué fait de feuilles de bois déroulé d'une épaisseur allant de 0,5 à 4 mm.

La différence avec le bois massif est que ces épaisseurs et les essences utilisées vont permettre l'utilisation de hautes températures (150 à 200°C) et donc de temps de séchage très courts, de l'ordre de quelques minutes.

L'énergie sous forme de vapeur haute pression ou d'eau surchauffée est produite par des chaudières. On rencontre également des séchoirs à chauffage direct au gaz.

Il va en découler des matériels très différents : sortes de tunnels à plusieurs étages dans lesquels le placage en bandes continues ou en feuilles prédécoupées entre par une extrémité et en ressort par l'autre.

La consommation d'énergie calorifique ramenée au litre d'eau évaporé est en moyenne 1,5 fois plus élevée que pour le bois massif et la maîtrise de cette consommation plus difficile à obtenir :

- Il est cependant possible d'agir sur les niveaux de température qu'il est inutile de monter à l'excès, en essayant d'optimiser l'évacuation de la vapeur d'eau par les cheminées.
- Il faut faire "la chasse aux fuites" aux joints des panneaux et essayer d'améliorer les ponts thermiques.
- Il peut aussi être astucieux de récupérer la chaleur extraite des zones de refroidissement pour chauffer les ateliers en hiver.
- Concernant la consommation électrique pour la ventilation, certains séchoirs à placages récemment installés sont équipés de ventilateurs à deux vitesses permettant par exemple de faire une économie sensible lorsque l'on sèche du bois peu humide au départ.
- On essaiera enfin d'optimiser la production en chargeant correctement les tapis et surtout on évitera le "sur-séchage" générateur de problèmes de qualité des placages et consommateur inutile d'énergie.

LES SÉCHOIRS À FIBRES ET PARTICULES

Selon les procédés, le séchage concerne les fibres ou les copeaux de bois destinés à

faire des panneaux. Les séchoirs sont en général constitués de grands cylindres tournant sur leur axe et chauffés soit par des brûleurs directs, soit par des tubes de vapeur à haute pression. Les régulations sont sommaires et l'objectif de séchage final peu précis. La consommation d'énergie est importante et les moyens d'économiser faibles.

L'ÉTUVAGE

Étuver le bois, c'est le soumettre pendant quelques heures (24 à 48 en moyenne) à une atmosphère de vapeur saturée. L'objectif principal est de le faire changer de couleur. Par exemple, le hêtre étuvé qui est beaucoup demandé en ce moment passe d'une couleur blanche connue à une couleur rouge plus ou moins foncée selon le temps d'étuvage.

Cette opération qui, encore une fois, ne doit pas être confondue avec le séchage, nécessite beaucoup d'énergie : l'expérience a montré qu'il fallait compter environ 2,5 kWh par m³ et par heure, uniquement pour la vapeur, soit pour un temps d'étuvage de 48 h, 120 kWh par m³, c'est-à-dire 2 à 6 € par m³. L'injection directe de vapeur dans l'étuve est plus consommatrice d'énergie que l'étuvage indirect qui consiste à produire la vapeur à l'intérieur de la cellule. De plus, la qualité de l'étuvage est meilleure. Des économies très importantes peuvent en général être réalisées sur cette opération, en passant par exemple d'un étuvage direct à un étuvage indirect.

Dans l'industrie du placage, on pratique également l'étuvage préalablement aux opérations de tranchage ou de déroulage. Les billes de bois sont mises dans des

bassins dans lesquels est injectée de la vapeur. Ces bassins en général mal isolés et mal fermés consomment souvent plus d'énergie qu'il ne faudrait.

LES TRAITEMENTS THERMIQUES

C'est une opération qui consiste à soumettre le bois à des températures relativement élevées, soit pour le "pasteuriser" à environ 60°C, soit pour le transformer en "bois traité à haute température" (plus de 160°C).

On ne peut dans cet article traiter des propriétés des bois ayant été "chauffés". Disons simplement que ces opérations sont fortement consommatrices d'énergie et que tout ce qui a été dit précédemment sur les moyens de faire des économies reste valable.

Adresses utiles :

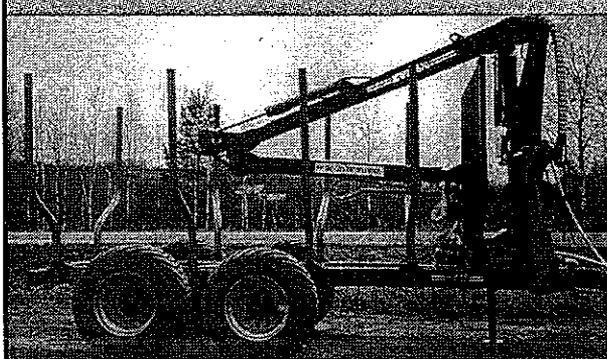
- Olergie, Saint-Eloi, 56550 Locoal-Mendon
Tél. : 02 97 24 53 00 - Fax : 02 97 24 52 53
f2g.olergie@wanadoo.fr - www.olergie.com
- Biomasse Normandie
42, avenue du 6 juin, 14000 Caen
Tél. 02 31 34 24 88 - Fax : 02 31 52 24 91
info@biomasse-normandie.org
www.biomasse-normandie.org

Les Cahiers du bois énergie, édites sous la responsabilité de Biomasse Normandie, sont publiés avec le soutien de l'Ademe-Angers (Direction de l'agriculture et des bioénergies).

Ce numéro a été rédigé par MM. François More-Chevalier et Gérard Gandon, Cabinet Olergie, membres de la Société des Experts Bois, et par M. Jean-Christophe Pouët, Ademe-Angers.

Mise en page par la Rédaction du Bois InterNational.

Dcarrosserie BP 43 - 37120 RICHELIEU - TÉL. 02.47.93.64.64 - FAX 02.47.58.18.39 - E-mail: carrosserie-durand@wanadoo.fr
DURAND LE TRANSPORT : du débardage à la route



Importateur Exclusif
en Direct de Finlande
Remorques & Grues
EVI - 8 à 12 T
Grues de camion Epsilon

COUPON RÉPONSE

Je souhaite recevoir
 la visite d'un commercial
 des informations
 Société :
 Nom du responsable :
 Adresse
 CP Ville
 Tél. Fax
 E-mail
 Portable
 X

GRUE : 3, 4, 5 & 6 t/m. Ensemble de débardage traîné ou remorque motrice 8, 10 & 12 t