

Le BOIS

INTERNATIONAL

Le cahier du bois-énergie n°38



Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires

en 17 questions-réponses

L'hebdomadaire
de la filière bois
Supplément au N° 24
samedi 28 juin 2008

Bioénergie et recyclage...



CBI Europe B.V.

Fuutweg 6
NL - 7442 cl Nijverdal
www.cbi-eu.com

... 1 seul interlocuteur

FMC

FMC SARL

28, rue de Pommier - F - 38580 ALLEVARD

Tél : 09 77 58 58 05

Mobile : +33 (0)6 12 88 17 67

E-mail : dufays.henri@wanadoo.fr

**Forest Material
Consulting**

CAHIER N° 38

Minimiser les émissions gazeuses et particulaires en développant le chauffage collectif au bois

Édito

La biomasse finit toujours par s'oxyder...

La biomasse est au cœur du cycle du carbone : les végétaux absorbent du gaz carbonique au cours de leur croissance, leur destruction / décomposition en rejette. Le dégagement de gaz carbonique s'opère, en présence d'oxygène, selon deux grandes voies :

- thermochimique (combustion par exemple) ;
- biologique, sous l'effet de bactéries aérobies (d'autres fermentations anaérobies, méthanogènes, dégagent également en partie du CO₂).

Ces processus sont irréversibles (la biomasse lignocellulosique n'est pas un matériau inerte !), **qu'ils soient naturels** (décomposition de la nécro-masse en forêt et des végétaux des écosystèmes agro-pastoraux, en fin de vie) **ou bien issus d'activités forestières, agricoles, industrielles ou domestiques** (chauffage des locaux...). Le cycle du carbone peut se boucler en quelques semaines (plantes à durée de vie courte) ou se dérouler sur quelques centaines d'années (bois utilisé dans la construction), avec toutes les durées intermédiaires. Mais le carbone organique, en tout état de cause, finira nécessairement par s'oxyder, dans de bonnes ou mauvaises conditions, et achèvera son cycle sous forme gazeuse (et minérale solide pour une petite fraction).

Ces processus de destruction / décomposition du carbone organique s'accompagnent d'un re-largage de vapeur d'eau mais aussi d'un cortège d'autres gaz (monoxyde de carbone, composés organiques volatils, oxydes d'azote...) **et de particules** (aérosols carbonés) plus ou moins indésirables. Les émissions gazeuses et particulaires dépendent des conditions dans lesquelles ces conversions thermiques ou biologiques vont s'effectuer.

Pour nous limiter au sujet du présent dossier, gaz polluants et particules fines sont émis en quantité décroissante selon les modes de combustion : sauvage (incendie de forêt, brûlage de végétaux à l'air libre) ou très mal contrôlée (cheminées à feu ouvert) à un extrême, dans des chaufferies collectives automatiques équipées de traitement de fumées à l'opposé. La situation du chauffage domestique est dans l'entre-deux : médiocre pour le parc ancien, plutôt bonne avec des marges de progrès pour les chaudières et appareils indépendants récents.

Ne pas jeter le bébé avec l'eau du bain

La perfection n'étant pas de ce monde, **les professionnels du chauffage collectif au bois ne prétendent pas au "zéro rejet", même si les efforts de tous** (concepteurs, constructeurs / installateurs, exploitants de chauffage...) **tendent vers cet objectif**. Pour l'atteindre, plusieurs conditions doivent être réunies :

- d'abord un combustible bois de bonne qualité, propre, homogène, plutôt sec, dépoussiéré... ;

- ensuite, une conception et un dimensionnement de l'installation optimisés, de façon à ce qu'elle fonctionne autant que possible à sa puissance nominale, les phases de ralenti étant toujours plus critiques ;

- une géométrie de foyer, des organes de régulation des amenées de bois et d'air comburant et des équipements de traitement des fumées adaptés aux caractéristiques du combustible utilisé (plus celui-ci est fruste, plus l'installation doit être sophistiquée) ;

- une exploitation des chaufferies par des professionnels qualifiés, appliquant les règles de l'art et respectant les réglementations en vigueur, en termes de sécurité, de rejets gazeux et particulaires, de recyclage des cendres.

A ces quatre conditions, il n'est pas inutile d'en ajouter une cinquième : un maître d'ouvrage (un client) exigeant vis-à-vis de ses fournisseurs et de ses prestataires de service, posant de bonnes questions et ne s'engageant que sur la base de réponses détaillées et argumentées.

Consacré à la combustion de la biomasse et à ses effets environnementaux, le présent dossier a été préparé par les adhérents du CIBE et des centres scientifiques et techniques spécialisés.

A l'échelle planétaire globale, notre réponse est claire : la biomasse est neutre vis-à-vis de l'effet de serre et les forêts durablement gérées, au même titre que les autres formations végétales, **constituent des puits de carbone**.

A l'échelon local, la question est plus complexe et la réponse plus nuancée : le parc d'équipements domestiques existant est loin d'être parfait, mais son renouvellement permet (tra) des améliorations substantielles. **Les chaufferies collectives sont dans l'ensemble de bonne et même excellente qualité**, sous réserve de choix technico-financiers appropriés et d'un suivi exigeant.

L'état des lieux réalisé dans le dossier est révélateur de pratiques anciennes (ancestrales !), contestées et contestables (brûlage à l'air libre...). Pour autant, **les maîtres d'ouvrage publics et privés ne doivent pas hésiter à s'engager avec détermination dans la création de chaufferies collectives et de réseaux de chaleur au bois, efficaces au plan énergétique et qui permettent de minimiser les rejets gazeux et particulaires dans l'atmosphère**.

La pire des choses serait l'attentisme, au motif que tout n'est pas parfait, autrement dit de mal appliquer le principe de précaution, ce qui conforterait au bout du compte... les énergies fossiles et fissiles. De ce côté-là, il n'est plus à démontrer que leur usage immodéré et non raisonné depuis plusieurs décennies fait courir des risques considérables au climat de la planète (effet de serre) ou à la sécurité des populations (accidents nucléaires ou risques de dissémination de matières fissiles) !

Avec SALIX, Plantez pour l'avenir



CULTURE ÉNERGÉTIQUE DU SAULE BOIS ÉNERGIE



NOS ATOUTS
 CONSEIL, EXPERTISE,
 EXPÉRIENCE

tél +33 (0)3 24 38 17 79
 fax +33 (0)3 24 72 78 58
 33 route d'Attigny
 08300 Thugny-Trugny
 a.dalle@salix-energie.fr

CHAUDIÈRES AUTOMATIQUES À BOIS LA CHALEUR HAUTE TECHNOLOGIE



ENVIRONNEMENT



EXPÉRIENCE



ÉCONOMIE



la référence

ZI de Vaureil - F - 63220 ARLANC - Site : www.compte-r.com
 Téléphone 33(0)473 950 191 - Fax 33(0)473 951 536



Produire des plaquettes fines et calibrées
 sans triage ni tamisage

Fabrication scandinave par:
 PC SIAI



REKA-France Sarl - 18 rue du Fort - 78250 MEULAN
 Tél 01 34 74 89 17 - Fax 01 30 99 19 86
 www.reka-equipement.fr - info@reka-france.fr

Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

Propriétaire

LE BOIS NATIONAL S.A.R.L.
au capital de 40.000 Euros
Siège Social : 3, rue Claude Odde,
42000 Saint-Etienne.

Nom commercial

Le Bois International

Directeur de la publication

Jacques BERLIOZ

Directeur délégué

Yves STERVINO

Comité de rédaction

Direction : Jacques BERLIOZ
Édition verte : Fabienne TISSERAND
Tél. 04.77.74.02.55
Dominique SEYTRE
Édition rouge : Sylvain DEVUN
Tél. 04.77.74.65.00
Édition internet : Alain LE TIRILLY
Secrétariat de rédaction : Aurélie BRUYAS
Pierre NEBOUY
Tél. 04.77.74.65.01

Service publicité

Estelle KALOUSTIAN
Tél. 04.77.91.00.74
Christophe COUSSON
Tél. 04.77.91.00.73
Mathieu RODET

Petites annonces

Eliane DUVERNEY
Tél. 04.77.74.33.11

Abonnements

Muriel DUCCELLIER-COUVREUR
Tél. 04.77.74.32.22

Photocomposition et maquette

Alexandre MONTALESCOT
Maryse MARTINAUD
Émilie TOGNON
Tél. 04.77.91.00.72

Accueil

Philippe MALOSSE
Tél. 04.77.74.33.99

Impression

Savoy Offset
4 rue Bouvière
74940 Annecy-le-Vieux

C.P.A.P. 0210 T 86122.

Dépôt légal à parution
I.S.S.N. : 1760 - 4672

Supplément au N° 24
samedi 28 juin 2008
79^e année

fnps **Revue**
BOIS
L'abonnement à une publication

de presse spécialisée peut être utilisé
au titre de la formation professionnelle continue.

Edito

Minimiser les émissions gazeuses et particulaires en développant le chauffage collectif au bois > 3

■ LA BIOMASSE ET LE CYCLE DU CARBONE > 7

- Qu'est ce que la photosynthèse et le cycle du carbone ? > 8
- La biomasse est une énergie renouvelable, quelle en est la particularité ? > 10
- Pourquoi et à quelles conditions la biomasse est-elle neutre du point de vue de l'effet de serre ? > 12
- Y a-t-il pollution particulaire de l'atmosphère par la destruction / combustion des végétaux et quelles en sont les sources ? > 13

■ LA COMBUSTION DU BOIS ET SES PARTICULARITÉS > 15

- Quels sont les constituants chimiques du bois et celui-ci est-il un combustible propre ? > 16
- Quelles sont les conditions d'une combustion optimale du bois ? > 17
- Quelle part le chauffage au bois (domestique, collectif et industriel) a-t-il dans la pollution de l'atmosphère ? > 19
- Quels sont les composés organo-halogénés et les métaux émis lors de la combustion du bois ? > 21
- Quels impacts la combustion du bois a-t-elle pour les riverains en zone urbanisée ou en milieu rural ? Faut-il différencier la réglementation selon la densité de population ? > 23

■ TECHNOLOGIES, PRATIQUES PROFESSIONNELLES ET RÉGLEMENTATION > 25

- Quelles sont les performances environnementales des appareils de chauffage domestique au bois ? > 26
- Quelles sont les bonnes pratiques liées à l'installation et à l'utilisation d'un matériel de chauffage domestique au bois ? > 27
- Quelle est la réglementation applicable aux chaufferies collectives et industrielles au bois ? > 29
- Quelles sont les opérations de conditionnement réalisées par les producteurs / distributeurs de combustibles bois pour fournir un produit de qualité ? > 31
- Comment procèdent les exploitants de chauffage pour conduire une installation et limiter les émissions gazeuses et particulaires ? > 33
- Quels traitements de fumées prévoir et quelle performance peut-on en attendre ? > 35
- Le durcissement de la réglementation sur les émissions gazeuses et particulaires est-il nécessaire et si oui aura-t-il des effets rapidement positifs ? > 37
- Existe-t-il une réglementation pour le recyclage des cendres de bois en France ? > 39



Le cahier du bois énergie n°38
Supplément au n°24 du samedi 28 juin 2008



>> EQUIPEMENT POUR LA PRODUCTION DE BOIS ÉNERGIE

GF SERVICES - siège social - 42120 COMMELLE VERNAY
Tél : 04 77 67 18 70 - Fax : 04 77 67 29 94 - Email : info@gfservices.fr

Agence Nord :
Maxime GUIOT
maximeguiot@yahoo.fr
01 53 14 42 56

www.gfservices.fr

(Le site forestier et du BOIS ÉNERGIE à visiter)

Agence en Aquitaine :
Guy COLLETTE
guy.collette@wanadoo.fr
05 53 73 81 71

Fendeuses - Combines - Déchiqueteuses pour plaquettes forestières PEZZOLATO



Chaudières bois Lindner & Sommerauer - Autriche

Puissances de 4 à 330 kW - Chaudières à granulés et/ou à plaquettes
en partenariat avec votre chauffagiste



FONCTIONNEMENT
AUTOMATIQUE!

Thermo System

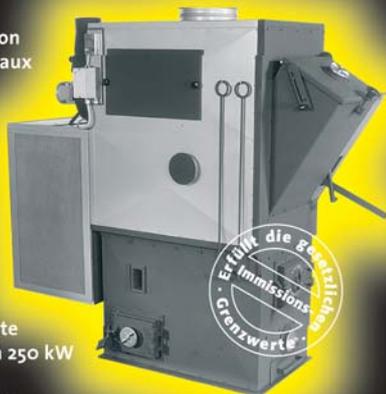
Séchoirs déplaçables ou fixes



> Plaquettes > Sciure > Copeaux > Granulés > Sarments de Vigne

GÉNÉRATEURS D'AIR CHAUD

Alimentation manuelle
ou automatique
Prévus pour la combustion
des déchets bois et copeaux
Equipés d'un
dépoussiérage
des fumées
Respectueux de
l'environnement et
conformes aux
normes DIN 51068
Très haut rendement
calorifique
Confort et sécurité
d'utilisation par automate
Puissances standard 25 à 250 kW



Extracteurs automatiques
de silo et vis
Poêles à copeaux à feu
continu pour les petits ateliers
Qualité made in Germany



MODAG

4, rue de la Walck - F 67350 UBERACH
Tél. : +33 (0)3 88 72 50 98
Fax : +33 (0)3 88 72 22 67
email : info@modag.com

Aspiration • Chauffage • Broyeurs • Presses à briquettes

SIBOIS

MACHINES A TRAVAILLER LE BOIS

UNTHA

shredding technology



UTILISEZ L'ÉNERGIE QUI SE TROUVE
DANS VOS DÉCHETS DE BOIS!

Nous vous proposons la solution idéale pour le broyage de bois pour :
les menuiseries, ébénisteries et scieries.

UNTHA shredding technology represented by SIBOIS
24a, rue de la Gare, F-67500 Marienthal,
Tel. +33 (0)3 88 07 40 65
Fax +33 (0)3 88 93 27 91
untha@sibois.eu
www.sibois.eu



Les cahiers du bois-énergie

A large, leafless tree stands in a green field with mountains in the background. The tree is the central focus, with its intricate branch structure silhouetted against the sky. In the foreground, there are some small, budding plants. In the background, a range of mountains is visible under a clear blue sky. A small animal, possibly a cow, is grazing in the field to the left of the tree.

**La biomasse
et le cycle du carbone**

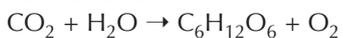
■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulières en 17 questions-réponses

>>> Ghislain GOSSE (Inra - Institut national de la recherche agronomique)

Qu'est-ce que la photosynthèse et le cycle du carbone ?

La photosynthèse à la base de la production végétale

La photosynthèse est un processus biologique qui permet aux plantes de synthétiser leur matière organique, en particulier le carbone, à partir de gaz carbonique de l'atmosphère, de l'eau du sol et du rayonnement solaire visible (400-700 nm). Dans la plante, les chloroplastes et leur pigment principal, la chlorophylle, sont le siège de la photosynthèse. Les processus photosynthétiques peuvent se résumer par l'équation suivante :



Parmi l'ensemble des végétaux supérieurs, on peut distinguer deux grands types de photosynthèse :

- les plantes en C3 dont le premier produit de la photosynthèse est une molécule à trois atomes de carbone (grande majorité des plantes comme le blé, la betterave, le colza et les arbres en général) ;

- les plantes en C4 dont le premier produit de la photosynthèse est une molécule à quatre atomes de carbone (plantes plutôt d'origine tropicale et de type graminéen comme le maïs, le sorgho, la canne à sucre mais aussi le miscanthus et le switchgrass souvent évoqués comme des ressources potentielles pour des usages énergétiques).

Les plantes en C3 sont bien adaptées aux conditions tempérées et réagissent favorablement à une augmentation de la concentration en gaz carbonique (CO₂) alors que les plantes en C4 sont souvent limitées par les basses températures dans nos régions, réagissent moins à une augmentation du CO₂ mais présentent une meilleure productivité ainsi qu'une meilleure efficacité en eau.

Pour les conditions climatiques d'un lieu donné, et en l'absence de facteurs limitants liés au sol comme l'eau et les éléments minéraux (notamment l'azote), la productivité d'un couvert végétal dépend :

- de la nature de la photosynthèse (plante en C3 ou en C4) ;
- de la surface de capteurs photosynthétiques développés par la plante (leaf area index ou LAI) ;
- de l'organisation spatiale des feuilles (inclinaison...) ;
- et surtout de la durée de végétation de la culture.

Cette analyse, similaire à celle de la performance d'un capteur solaire physique, a servi de base à l'ensemble des modèles de productivité exprimant la biomasse produite en fonction du rayonnement absorbé par la culture tout au long de son cycle de végétation. Par contre, la variabilité entre les espèces est beaucoup plus importante lorsque l'on soumet ces mêmes cultures à des conditions de stress comme le manque ou l'excès d'eau, le manque en éléments minéraux comme l'azote, l'action des ravageurs et des maladies. L'enjeu de l'amélioration génétique des espèces, de la mise au point des itinéraires techniques est de proposer des solutions qui permettent d'une part une meilleure prise en compte de ces facteurs limitants et d'autre part de minimiser l'utilisation des intrants fossiles comme les engrais azotés et les produits phytosanitaires.

Les espèces cultivées aujourd'hui sont le résultat d'une sélection génétique et d'une agronomie qui a privilégié l'augmentation des organes de stockage (grain, tubercule...) riches en éléments facilement utilisables pour l'alimentation humaine. C'est le cas notamment

des céréales comme le blé, le riz... avec des grains riches en amidon, des espèces comme le colza riches en huiles et protéines, la betterave riche en saccharose. Dans une espèce comme le blé, la partie grain représente environ 50 à 55 % de la biomasse totale de la plante, les 45 à 50 % restants constituant les tissus de soutien de la plante formés par la lignocellulose (complexe physico-chimique entre la lignine, la cellulose et les hémicelluloses, de nature variable selon les espèces et les conditions de croissance). La mise en œuvre du concept de valorisation de la plante entière consiste à proposer des voies de transformation (thermo-chimique, biochimique) de cette lignocellulose. Compte tenu de sa nature même, la lignocellulose représente la ressource en biomasse la plus abondante, la plus ubiquiste tant au niveau local que planétaire.

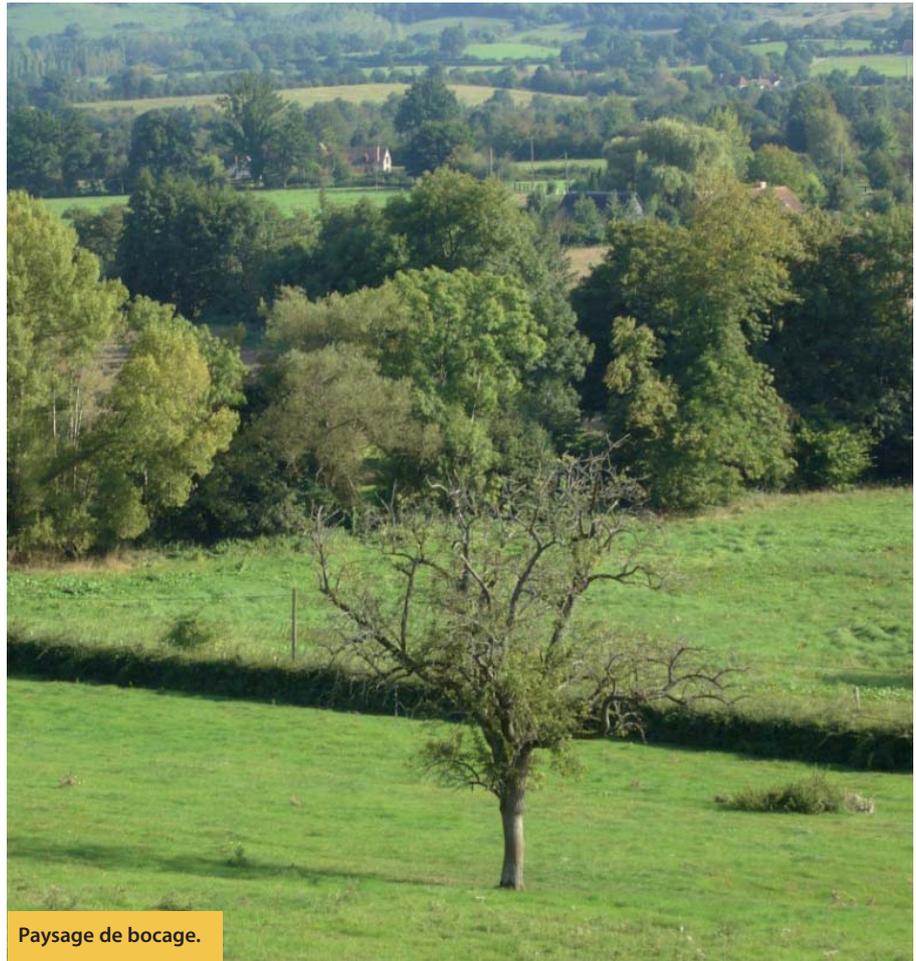
Le végétal au cœur de la problématique du développement durable

La plante, que ce soit une espèce agricole ou forestière, échange des flux de masse (eau, carbone...) et d'énergie avec les milieux qui l'entourent : l'atmosphère et le sol. Le carbone de la matière organique du sol est le résultat de la dégradation du carbone des plantes, celui issu de la photosynthèse. Aussi, pour un type de climat et de sol donné, l'évolution des stocks de carbone dans le sol sera donc fonction de la gestion que l'on adoptera pour les cultures ou les forêts qui y poussent. De façon schématisée, une augmentation de la productivité des cultures et un travail simplifié du sol conduisent à une augmentation de ce stock de car-

bone alors qu'une exportation massive des récoltes conduit à une diminution des stocks. La valorisation de la biomasse devra nécessairement intégrer cette dimension, la décliner de façon spécifique au milieu pédoclimatique ou socioéconomique afin que les solutions proposées puissent relever d'une logique de développement durable.

Cette relation étroite entre l'utilisation de la biomasse et le devenir de la matière organique dans les sols est d'autant plus importante que la dynamique de déstockage du carbone du sol et celle du stockage sont fondamentalement différentes. Le déstockage de carbone, notamment après la mise en culture d'une savane, d'une forêt ou d'une prairie permanente est très rapide, quelques mois à quelques années en fonction du climat notamment, alors que la dynamique de reconstitution est beaucoup plus lente, largement supérieure au siècle. Cette différence de réponse met en exergue la question du changement d'usage des sols, en particulier le risque que présente la mise en culture (avec des espèces annuelles notamment) d'écosystèmes pérennes comme les prairies permanentes, les savanes et les forêts. Par ailleurs, ces mêmes écosystèmes possèdent une richesse importante en biodiversité. Vis-à-vis du changement climatique, l'agriculture et la forêt ont un statut très particulier :

- ce sont les seules sources de carbone renouvelables sur les continents et à ce titre, elles doivent contribuer à la production de bioénergie ;
- elles sont généralement des puits de carbone (matière organique des sols, bois des arbres) mais peuvent aussi être des sources de carbone (changement d'usage des sols) ou de gaz à effet de



Paysage de bocage.

serre notamment par l'utilisation des engrais et des produits phytosanitaires ;
- la production agricole ou forestière dépend largement des conditions climatiques.

Les scénarios d'utilisation de la biomasse doivent intégrer une difficulté supplémentaire, la dimension changement climatique et son lot d'incertitudes.

Bien que l'on puisse envisager une augmentation des surfaces agricoles, la pression sur les surfaces, les matières premières (eau, pétrole...) sera un des éléments clés du développement agri-

cole du XXI^e siècle. Dans le même temps, les sollicitations pour les productions agricoles sont multiples et de plus en plus fortes : alimentation humaine et animale, production d'énergie... Ce système contraint, dans un environnement incertain, va nécessiter une vision stratégique des priorités, une cohérence dans le temps des décisions politiques et un renforcement des recherches et de l'innovation avec la "plante" comme centre d'intérêt principal.

LOE 06 ATEX 014 X

Concepteur du 1^{er} débit variable en aspiration en 1997

Matériel certifié ATEX en 2006

Un besoin d'aspiration?

Concepteur, fabricant, installateur

Les plus de TVSL :

- ❖ Contrat d'entretien
- ❖ Surveillance par GSM
- ❖ Dépannage 24/24h et 7/7jrs

- Ventilateurs de 1 à 100 CV
- Filtres
- Silos de 50 à 500 m³
- Cyclofiltres
- Ecluses
- Tables de ponçage
- Tuyauteries
- Capots

Tél. : 05.49.70.61.34 • Fax : 05.49.70.60.46
 Mail : TVSL@wanadoo.fr • TVSL 79420 S' LIN
 Nous vous invitons à visiter notre site : www.tvsl.fr

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

>>> Stéphane COUSIN (Biomasse Normandie)

La biomasse est une énergie renouvelable, quelle en est la particularité ?

L'épuisement et le renchérissement des énergies fossiles ainsi que les changements climatiques font que les énergies renouvelables prennent dans les politiques publiques, depuis le début de la décennie, une place plus importante qu'auparavant. Contrairement au pétrole, au gaz, au charbon et à l'uranium qui sont **des énergies "stock"** (disponibles en quantité limitée), les énergies solaire, éolienne, hydraulique, géothermique et la biomasse sont **des énergies "flux"**, inépuisables pour les trois premières et dont le caractère renouvelable pour les deux dernières est soumis à des conditions d'exploitation et d'utilisation compatibles avec le rythme de reconstitution du gisement.

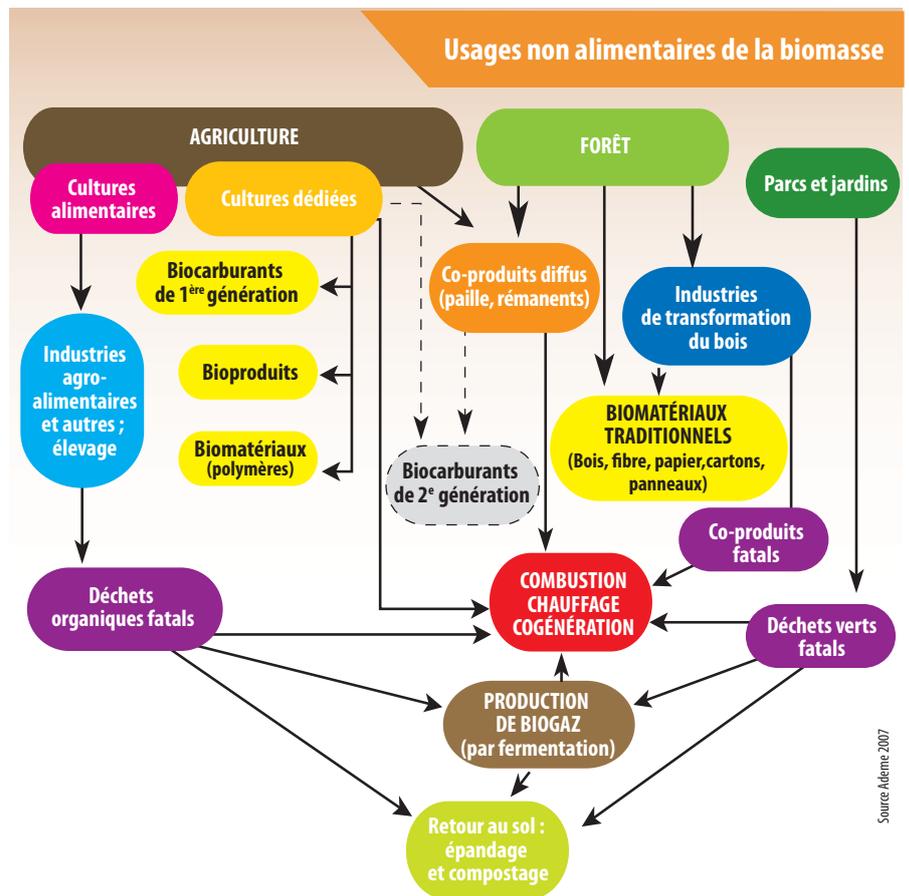
Des débouchés multiples potentiellement concurrents

Concernant la biomasse, précisons de quoi l'on parle. Au sens large, la biomasse est l'ensemble de la matière vivante. Depuis le premier choc pétrolier de 1973, cette terminologie s'applique néanmoins principalement **aux produits organiques végétaux ou animaux utilisés à des fins énergétiques ou agronomiques**, que l'on classe couramment en deux grandes familles selon leur taux d'humidité :

- la biomasse "sèche", qui comprend la biomasse ligneuse (bois forestiers et agricoles, produits connexes de la transformation du bois, élagages urbains et des bords de routes, bois de rebut) et lignocellulosique (pailles...) ainsi que les cultures céréalières et oléagineuses ;
- la biomasse "humide", qui regroupe les flux de déchets organiques issus de l'activité agricole (déjections animales), des industries agroalimentaires (abattoirs, laiteries, distilleries...) et des

collectivités (déchets verts, boues d'épuration, fraction fermentescible des ordures ménagères, graisses organiques et produits résiduaire). Pour les boisements forestiers et agricoles, le cycle de vie varie de 10 à 200 ans : il faut donc veiller à ne pas les surexploiter, même ponctuellement, au risque de manquer de ressource quelques années ou décennies plus tard (et également de favoriser la diminution de la biodiversité et l'érosion des sols). Précisons toutefois **qu'au rythme de prélèvement actuel, la forêt française n'est pas en danger** : elle s'ac-

croît même en surface et en volume. Mais qu'en sera-t-il à l'avenir ? Le bois, disposant de qualités indéniables, notamment écologiques, fait l'objet de multiples usages : biomatériaux (construction, papier, panneaux de process), biocombustibles et éventuellement, dans quelques années, biocarburants de seconde génération... La forêt pourra-t-elle répondre à un accroissement de demandes multiples pour toutes ces applications susceptibles de se développer en parallèle ? La réponse est oui sans réserve à court et moyen termes car **l'accroissement biologique**



Source Ademe 2007

est actuellement très supérieur aux prélèvements dans les forêts européennes (ce qui n'est pas forcément le cas pour les forêts équatoriales ou tropicales humides). **Par contre, la réponse est plus incertaine à long terme, surtout si le remplacement des matériaux et combustibles fossiles par leurs "homologues renouvelables" est massif et non maîtrisé.**

Le caractère renouvelable des cultures annuelles est assuré (sauf appauvrissement des sols et désertification comme dans certaines régions d'Afrique), de même que celui des déchets et co-produits, qui suivent les cycles de production / transformation des matières premières végétales.

Pour faire face à une pénurie de bois forestiers traditionnels, une option consiste à développer des cultures ligneuses ou lignocellulosiques pour produire des matières premières ou de l'énergie (taillis à courte ou très courte rotation, miscanthus...). Mais sur le continent européen, on risque de se heurter rapidement à une concurrence pour l'utilisation des sols agricoles (dont la vocation est d'abord alimentaire) et à une compétition d'autant plus forte que les usages industriels et énergétiques de la biomasse se diversifieront.

Rappelons que l'Union européenne (directive en cours de préparation) va fixer des objectifs très ambitieux (10 % des carburants utilisés dans les transports) aux biocarburants de première et de seconde générations (issus de matières premières lignocellulosiques).

Réduction des consommations d'énergie et gestion de la biomasse à l'échelle régionale

Une contribution significative de la biomasse ligneuse existante ou cultivée ne peut donc s'envisager que dans le cadre d'une stabilisation et même plutôt d'une réduction des consommations d'énergie finale des consommateurs européens, tous secteurs confondus, en particulier dans l'habitat / tertiaire et les transports. Ceci n'est envisageable qu'avec des décisions politiques et financières très volontaristes pour améliorer fortement l'isolation des bâtiments (neufs comme existants), amener des changements profonds dans notre système de transport (recours au fret ferroviaire et fluvial)... **Parallèlement, il faut que la production / distribution d'énergie issue de la biomasse, sous toutes ses formes, aille dans le sens**

d'une efficacité énergétique et environnementale maximale, à commencer par la cogénération à haut rendement, les chaudières bois avec récupération de chaleur par condensation des fumées...

La gestion optimale des ressources doit se concevoir au niveau régional. C'est à cette échelle pertinente que doivent être évaluées la quantité de biomasse existant sur un territoire, ses utilisations actuelles et futures, les quantités supplémentaires mobilisables... **Les études globales reflètent rarement la situation réelle sur le terrain et méconnaissent les contextes régionaux et les particularismes locaux.** Cette démarche s'inscrit nécessairement dans une large concertation entre tous les acteurs publics et privés, afin de mettre en cohérence les objectifs européens et nationaux et les politiques territoriales régionales sans mettre en danger le caractère renouvelable de la ressource et en respectant le rôle et les intérêts de tous les acteurs concernés (propriétaires forestiers, agriculteurs, industriels transformateurs de bois, aménageurs du territoire, défenseurs des espaces et espèces fragiles et de la biodiversité...).



www.leboisinternational.com

TOUTE UNE GAMME DE MANUTENTION...

granules
plaquettes
copeaux
biomasse

DENIS 28160 BROU • Tél. 02 37 97 66 11 • www.denis.fr ...JUSQU'À 150 M³ / HEURE

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulières en 17 questions-réponses

>>> Nadine ALLEMAND et Etienne MATHIAS (Citepa – Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique)

Pourquoi et à quelles conditions la biomasse est-elle neutre du point de vue de l'effet de serre?

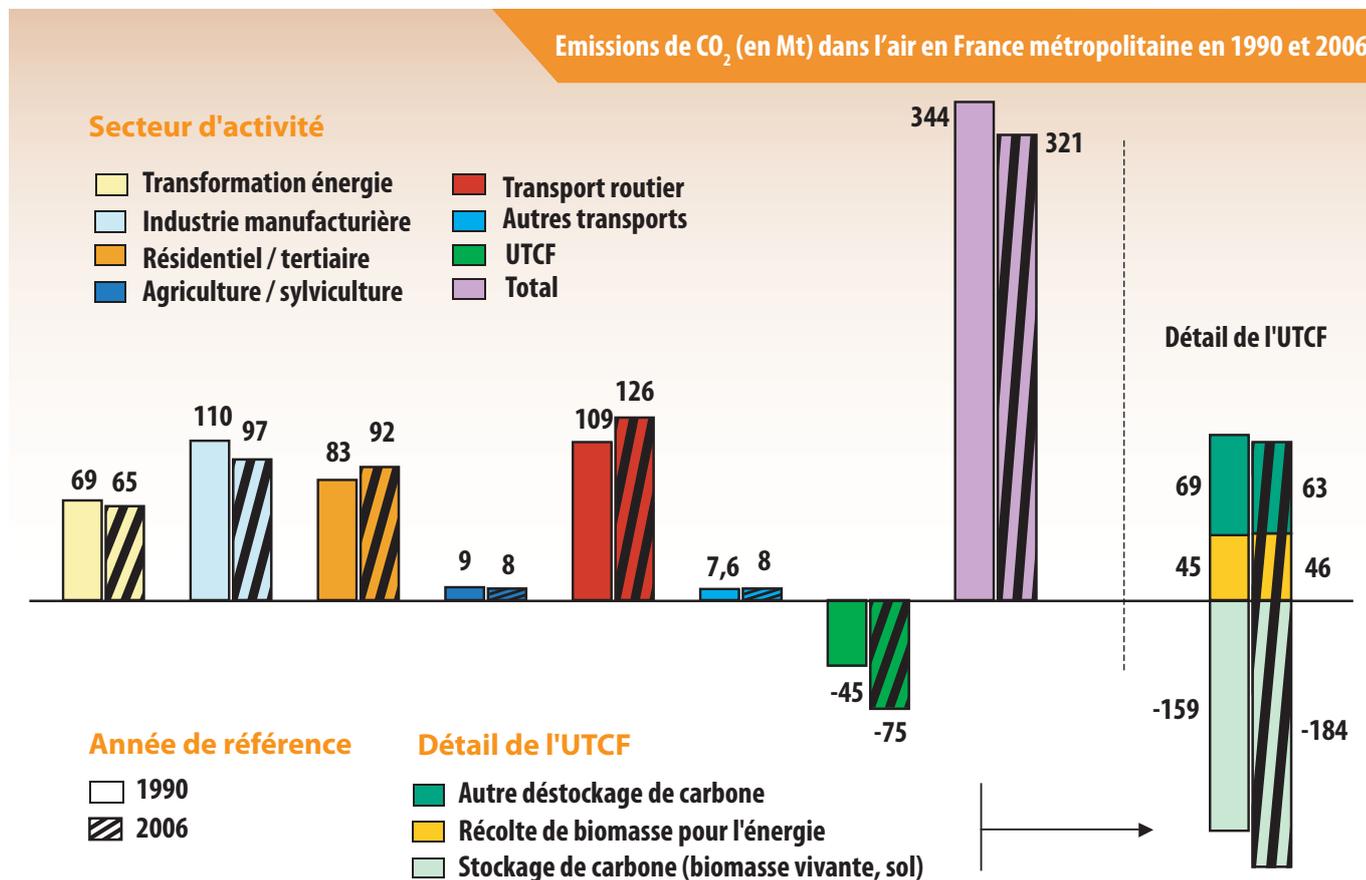
La Commission européenne a présenté un "paquet" législatif climat / énergies renouvelables le 28 janvier 2008. Il s'agit de propositions visant à mettre en œuvre les engagements pris en 2007 par l'Union européenne en matière de lutte contre le changement climatique : réduction des émissions de gaz à effet de serre de l'Union de 20 % en 2020 (par rapport à 1990). Les énergies renouvelables constituent un élément de base de la stratégie de lutte contre le changement climatique, la biomasse en étant l'une des composantes essentielles. Mais pourquoi et à quelles

conditions la biomasse est-elle neutre du point de vue de l'effet de serre ?

Biomasse et émissions de CO₂

Pour répondre à cette question, les inventaires des émissions de polluants sont utiles. Ils proviennent des travaux réalisés par le Citepa pour le MEEDDAT (ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire) ⁽¹⁾. Les émissions de CO₂ en France métropolitaine s'établissent à 321 Mt en 2006. Ces résultats incluent le secteur de l'utilisa-

tion des terres, leur changement et la forêt (UTCf) qui constitue ce que l'on appelle un puits d'émissions de CO₂ et dans lequel sont incluses les émissions de CO₂ issues de la combustion de la biomasse (bois, déchets de bois, déchets végétaux, liqueurs noires, agrocarburants, matières ligneuses des déchets ménagers) : 46 Mt en 2006 (45 Mt en 1990). On notera que ces dernières sont largement compensées par la croissance des forêts. La combustion de la biomasse est neutre pour ses émissions de CO₂ puisque celui-ci, une fois libéré, est réabsorbé par les végétaux en



Source CITEPA

croissance : le cycle du carbone organique est court (quelques dizaines d'années), contrairement aux cycles du carbone inorganique et du carbone fossile qui se déroulent sur plusieurs millions d'années.

Un bilan CO₂ positif

L'inventaire, quel que soit le composé chimique considéré d'ailleurs, prend en compte les émissions issues de l'utilisation des terres, de leur changement et de la forêt. Les forêts, par exemple, peuvent être un puits ou une source de CO₂ selon les conditions d'exploitation ou les événements naturels. Lorsqu'ils sont en croissance, les arbres absorbent le CO₂. La décomposition de la biomasse émet au contraire du CO₂. Si cette dernière devient prédominante en raison d'une récolte de bois supérieure à la production biologique, ou suite à des événements climatiques comme la tempête de 1999 qui a détruit de vastes étendues de forêts, les forêts deviennent source de CO₂. Seule une gestion durable des forêts peut donc permettre de maintenir leur rôle de puits de CO₂. Le bilan CO₂ du secteur est actuelle-

ment estimé en France selon la méthode dite des "flux" qui consiste à évaluer les entrées et les sorties des réservoirs de carbone que constituent les biomasses vivante, morte et la matière organique du sol. L'augmentation du carbone de ces réservoirs est due à la capitalisation sur pied des forêts, à l'augmentation des surfaces forestières et à la transformation de parties du territoire en des terres à stock de carbone supérieur (prairies converties en forêts...). En contrepartie, la libération de carbone est due aux prélèvements forestiers (estimés par les ventes de bois et les évaluations de consommation de bois de feu) et à la perte sous forme de CO₂ relative à la reconversion de terres en sols à moindre stock de carbone. Le puits de carbone représenté par l'UTCF est de 75 Mt CO₂ en 2006 (45 Mt en 1990).

Les autres gaz à effet de serre

Le CO₂ n'est pas le seul gaz à effet de serre pris en compte dans le protocole de Kyoto. Hormis les PFC (perfluorocarbures), HFC (hydrofluorocarbures) et SF₆ (hexafluorure de soufre) dont les

sources sont bien identifiées et uniquement anthropiques, il faut aussi considérer le CH₄ (méthane) et le N₂O (protoxyde d'azote) susceptibles d'être émis par l'oxydation de la biomasse et l'UTCF (pour mémoire les pouvoirs de réchauffement global de ces derniers sont respectivement de 21 et de 310 pour 1 fixé au CO₂). Pour ces deux derniers polluants, les émissions liées à la combustion de la biomasse entrent en ligne de compte, comme celles des énergies fossiles, dans le bilan des émissions : elles sont faibles pour le N₂O et peuvent être significatives pour le CH₄ quand la combustion est réalisée dans de mauvaises conditions. On peut aussi noter l'émission de N₂O (couplée avec la perte de carbone) lors de la conversion de forêts et de prairies en cultures et la capacité des sols forestiers non perturbés à capter du CH₄ atmosphérique.

(1) <http://www.citepa.org/emissions/nationale/index.htm> et "Rapport SECTEN - Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France - séries sectorielles et analyses étendues", dernières mises à jour 2007-2008.

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

>>> Jean-Pierre TACHET (CIBE)

Y a-t-il pollution particulaire par la destruction / combustion des végétaux et quelles en sont les sources ?

Qu'appelle-t-on pollution de l'atmosphère et comment se manifeste-t-elle ? On peut proposer la définition suivante : il s'agit de la modification de la composition naturelle de cette dernière, du fait de l'activité humaine. Cette modification a des conséquences dans deux domaines : le domaine "collectif", par **les effets induits sur le climat** puisque l'atmosphère est la zone de régulation du bilan radiatif planétaire⁽¹⁾, et le domaine "individuel", par **les effets sur la santé des individus**, puisque l'air est respiré par chacun d'entre nous. La question de la pollution peut donc se

considérer sous les deux conséquences climatologique et toxicologique. Dans ce qui suit, on décrira et évaluera les composants particuliers concernés, leurs sources et la contribution propre du domaine de la biomasse.

Les émissions particulaires

On peut définir **les aérosols comme étant l'ensemble des particules solides ou liquides en suspension dans l'air**, d'origine naturelle (érosion des sols, minérale et organique, entraînement des sels marins, volcanisme) ou anthro-

pique, c'est-à-dire liée à l'activité humaine (on parlera alors de pollution). **L'aérosol de "combustion" est majoritairement composé d'éléments carbonés dont l'importance et les proportions relatives sont directement liées aux caractéristiques du combustible et au type de combustion.**

Les scientifiques ont l'habitude de distinguer deux espèces dans l'aérosol carboné :

- le carbone suie ("black carbon", dit "non fonctionnalisé"), issu principalement de sources de combustion (d'autres processus, abrasion des pneu-

matiques par exemple, l'alimentent aussi) ;

- le carbone organique (celui produit par des organismes vivants, constitué de molécules "fonctionnalisées", comportant des liaisons entre atomes de carbone ou entre atomes de carbone et d'hydrogène), issu pour partie directement des processus indiqués plus bas (carbone organique primaire) ou résultant de transformations postérieures à ceux-ci telles que la condensation de produits gazeux accompagnée des réactions d'oxydation photochimique (carbone organique secondaire).

La source directe (primaire) représente environ le quart de l'aérosol carboné et la source indirecte (secondaire) les trois quarts, provenant entre autres de rejets industriels et véhiculaires ainsi que des gaz de combustion de produits combustibles fossiles et de la biomasse.

L'aérosol atmosphérique est bien entendu dynamique. Il "voyage", plus ou moins longtemps, plus ou moins loin. Il a ainsi en quelque sorte un cycle de vie. Certaines particules peuvent quitter l'atmosphère et se déplacer sur de très longues distances avant de se déposer. D'autres, les plus grosses en particulier, sédimentent assez rapidement. Au bout d'un certain temps (quelques jours en moyenne, mais les scientifiques ne sont pas unanimes sur ce point), les particules se redéposent soit par gravité, soit par entraînement (avec la pluie ou la neige).

Et la combustion de la biomasse dans tout cela ?

La combustion de la biomasse (mais aussi de tout autre combustible) est une réaction d'oxydation qui, dans son expression théorique, à partir de carbone, d'hydrogène et d'oxygène produit du gaz carbonique (CO₂) et de l'eau (H₂O) avec un dégagement de chaleur. En pratique cette réaction n'est, bien sûr, jamais réalisée dans des conditions de laboratoire, d'abord parce que les autres composants de la biomasse (naturels ou incorporés) réagissent aussi, ensuite parce que les conditions "idéales", notamment dans le rapport combustible / air, ne sont jamais obtenues durablement. C'est ainsi que seront émis, selon que la combustion sera complète (tout le carbone oxydé en CO₂) ou non, des composants gazeux et particulaires variés, dans des proportions plus ou moins fortes.



Brûlage à l'air libre dans la vallée de Chamonix, février 2008.

Le flux de particules peut s'évaluer à partir de deux données : **la part de la biomasse dans l'ensemble des processus émissifs et les facteurs d'émission⁽²⁾ spécifiques à celle-ci**, dépendant de sa nature et du mode de combustion. Soulignons que de fortes incertitudes pèsent sur ces ratios régulièrement révisés, ce qui rend impossible toute comparaison entre les inventaires annuels des émissions de polluants dans l'atmosphère réalisés par le Citepa. Les facteurs d'émission des processus de combustion identifiés et caractérisés, ainsi que leur part respective, peuvent être approchés (chauffage domestique, collectif et industriel). Cela est loin d'être le cas pour les sources difficilement identifiables et bien sûr non réellement caractérisables. Pour ces dernières, et en se limitant à la biomasse, on citera :

- les incendies de forêt ;
- les feux de pratiques agricoles (brûlis⁽³⁾, écobuage⁽⁴⁾) ;
- les feux de jardin ;
- les feux d'agrément dans les cheminées à foyer ouvert.

Toutes ces catégories, auxquelles il est difficile d'attribuer une part dans l'ensemble, contribuent dans des proportions importantes à l'alimentation de l'aérosol. Elles correspondent en général à des combustions très imparfaites, pas ou peu contrôlées. Il est utile de mentionner ici les résultats de l'étude "Carbosol" menée récemment par un groupement de chercheurs européens (dont ceux du Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement du CNRS de Grenoble) dans lesquels la

biomasse (mais précisément pour sa fraction issue de processus non contrôlés cités plus haut) serait responsable de 50 à 70 % de la pollution carbonée de l'aérosol européen, en hiver. Dans cette étude, et pour le sujet qui nous occupe ici, le point déterminant est que le lévoglucosan est un bon traceur de la présence des particules issues de combustion de la biomasse à basse température (c'est-à-dire d'une mauvaise combustion, connue sous le terme "smoldering", feu qui couve, mal oxygéné⁽⁵⁾). En effet, cette molécule est tout simplement détruite à haute température (à partir de 800 °C). **L'étude Carbosol ne permet pas d'incriminer la combustion sous chaudière ou d'une façon plus générale toutes les formes de combustion maîtrisée, qui s'effectuent à des températures se situant au-delà de cette limite (entre 800 et 1.100 °C).**

Les auteurs d'ailleurs précisent bien le champ des sources concernées par leurs conclusions (feux de cheminée, feux agricoles et feux de jardins). Cette remarque ne signifie bien sûr pas que l'impact des chaudières modernes soit nul en matière d'émissions, mais d'autres investigations sont à mener pour analyser correctement cette question.

Chacun comprendra la complexité des phénomènes et la nécessité d'évaluer, rapidement certes mais très rigoureusement, l'impact de l'utilisation de la biomasse pour ce qui concerne les conséquences en matière de pollution particulaire. Et peut-être d'abord de faire l'examen critique de pratiques, fort anciennes pour certaines, qui risquent d'occulter les avantages des formes modernes d'utilisation du bois-énergie au plan environnemental.

(1) Le bilan radiatif se manifeste par l'équilibre qui s'établit entre l'énergie solaire arrivant sur terre et celle réémise par celle-ci, avec ce qu'il est convenu d'appeler l'effet de serre d'une part et l'effet de parasol d'autre part.

(2) La quantité émise en masse ou nombre rapporté à l'unité d'énergie.

(3) L'agriculture sur brûlis est un système dans lequel la fertilité du sol est renouvelée par un défrichage de la parcelle, qui est ensuite brûlée.

(4) L'écobuage est un débroussaillage par le feu, consistant à brûler directement les végétaux sur pied avec épandage des cendres sur les terrains afin de les enrichir en éléments nutritifs.

(5) Les scientifiques distinguent deux types de combustion : le "smoldering", feu "couver" (300-500 °C) et le "flaming", feu "flambant" (750-1000 °C).

Les cahiers du bois-énergie



**La combustion du bois
et ses particularités**

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulières en 17 questions-réponses

>>> Stéphane COUSIN (Biomasse Normandie)

Quels sont les constituants chimiques du bois et celui-ci est-il un combustible propre ?

Les constituants chimiques du bois

Le bois est constitué d'eau, de matière organique et d'éléments minéraux. La fraction organique est formée de résines, de tanins et de polymères (cellulose, hémicellulose, lignine...).

Composition chimique moyenne du bois (en % de la masse anhydre)

C (carbone) 49 à 50

H (hydrogène) 6

O (oxygène) 43 à 44

N (azote) 0,2 à 0,5

A l'état naturel, le bois contient en faible proportion des éléments minéraux (azote, potassium, calcium...) et des éléments traces métalliques, qu'il a fixés lors de sa croissance. Leur présence et leur taux varient selon les caractéristiques environnementales de la station où l'arbre a poussé (sol, air ambiant...). Des impuretés macroscopiques (cailloux, terre) peuvent également s'accrocher aux écorces lors de l'exploitation de l'arbre, ce qui explique la forte variabilité du taux de cendres des combustibles ligneux. Celui du bois est en effet compris entre 0,5 et 1,5 % de la masse anhydre et celui des écorces est proche de 5 % : plus un combustible bois contient d'écorces, plus il a un taux de cendres élevé.

Les déchets de bois (bois de rebut) peuvent contenir, parfois en quantité importante, des éléments traces métalliques et des composés organo-halogénés (chlore, fluor...) dus à l'application de traitements de préservation, de finition (peintures, vernis...), ou à la présence d'adjuvants (colles...).

La qualité des émissions atmosphériques issues de la combustion du bois est la résultante de l'interaction entre un équipement de chauffage, un combustible et l'air comburant. Selon les caractéristiques des installations, l'oxydation d'un même combustible entraînera des proportions et des caractéristiques d'effluents gazeux différentes. Ceci est aussi valable pour une même installation et des bois d'origine et de caractéristiques distinctes. On peut classer les substances polluantes émises en deux grandes familles :

Le bois est un combustible propre (mais sous certaines conditions)

- celles provenant **d'une combustion incomplète** en raison d'un mauvais réglage des appareils ou de l'utilisation d'un bois trop humide, et qui sont composées de monoxyde de carbone (CO), de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et de poussières combustibles (suie) ;

- celles dues à **une médiocre qualité du combustible** (bois souillés ou traités, altérés par des indésirables...) entraînant des formations de dioxyde de soufre (SO₂), de poussières incombustibles (cendres volantes) et éventuellement de dioxines.

Les oxydes d'azote (NO_x) ne rentrent toutefois pas dans ces deux catégories. Ils sont formés par réaction de l'azote de l'air ou naturellement contenu dans le bois avec l'oxygène comburant, leur quantité dépendant des conditions de combustion.

Pour limiter les émissions polluantes, plusieurs mesures doivent être prises.

1. Contrôler la qualité du combustible.

Pour le **chauffage domestique**, il convient d'utiliser des bûches de bois sec (au moins deux ans de séchage à l'abri) et ne pas brûler de bois de rebut, surtout s'ils sont mélangés à des indésirables (plastiques notamment) ou ont subi un traitement chimique (bois peints, vieux meubles, poteaux téléphoniques, traverses de chemin de fer, bois imprégnés CCA faciles à reconnaître par leur couleur verte).

Pour le **chauffage collectif**, seuls les bois qualifiés de "biomasse" par la réglementation sont autorisés : bois d'origine forestière, bocagère ou urbaine, produits connexes des industries de transformation du bois et certains bois de rebut (palettes) non susceptibles de contenir des composés organiques halogénés (chlore notamment) ou des métaux toxiques. Il faut veiller à ce qu'il n'y ait pas d'éléments indésirables en mélange.

Les **chaufferies industrielles** sont autorisées à consommer d'autres combustibles bois, non assimilables à de la biomasse au sens réglementaire (chutes de panneaux par exemple) : une autorisation préfectorale est nécessaire au titre de la rubrique 2910 B (combustion) des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), voire 167 C (traitement de déchets industriels et spéciaux). Dans ces deux cas, les seuils de rejets atmosphériques sont fixés par les services préfectoraux pour chaque dossier.

2. Assurer de bonnes conditions de combustion.

Les appareils de chauffage domestique ont des rendements très variables (plus de 80 % pour les matériels modernes,



Écorces



Plaquettes de scierie



Sciures



Broyat de palettes

Exemples de combustibles bois pour le chauffage collectif

entre 40 et 50 % pour les poêles, inserts ou foyers fermés de conception ancienne, 10 % voire moins pour les cheminées

ouvertes). Les émissions polluantes sont par conséquent très différentes d'un appareil à l'autre. Dans tous les cas, il

convient d'obtenir un débit d'air suffisant pour apporter l'oxygène nécessaire à la réaction de combustion, mais néanmoins pas trop important afin de ne pas refroidir le foyer.

Les chaudières collectives et industrielles, entièrement automatisées, permettent d'adapter les réglages (vitesse d'avancée du combustible dans le foyer, débits d'air...) aux besoins thermiques et à la qualité du combustible (notamment au taux d'humidité), de manière à obtenir une combustion optimale.

3. Piéger les polluants dans des filtres.

Cette solution n'est envisageable que pour les chaudières collectives et industrielles. Dans les chaufferies de petite ou moyenne puissance, les particules fines, qui concentrent une part importante des polluants, sont extraites par voie gravitaire (multicyclone). Pour les chaufferies de forte puissance ou brûlant des combustibles spécifiques (chutes de panneaux...), on y adjoint un filtre à manche ou un électrofiltre.

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

>>> Christophe HUON (Energico)

Quelles sont les conditions d'une combustion optimale du bois ?

La combustion est un phénomène complexe qui implique la transformation des différents composants en éléments simples. C'est une réaction chimique à température élevée entre un combustible qui contient essentiellement du carbone et de l'hydrogène et l'oxygène apporté par un comburant (air atmosphérique).

En première approche, nous pouvons affirmer que la dégradation du bois par combustion est le phénomène inverse de la constitution de ce matériau par photosynthèse. En effet, via la photosynthèse, l'arbre pompe l'eau et les matières minérales du sol, capte le dioxyde de carbone ambiant et l'éner-

gie lumineuse afin de former de la biomasse et de libérer de l'oxygène dans l'atmosphère. A l'inverse, via le chauffage du matériau bois (combustible) en présence d'oxygène ambiant (comburant), la combustion libère du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau dans l'atmosphère (effluents gazeux), ainsi que des matières minérales (cendres et poussières), tout en produisant de l'énergie calorifique.

Étapes de la combustion du bois

La combustion du bois se divise en plusieurs étapes relevant de divers processus chimiques et physiques.

La haute température régnant dans le foyer provoque le chauffage du combustible. Celui-ci sèche vers 100 °C et l'eau contenue dans le bois s'évapore sous l'effet du rayonnement des parois chaudes du foyer et de la convection due à l'air primaire.

La matière organique se décompose vers 200 °C ; c'est la pyrolyse qui se poursuit jusqu'à 600 °C environ. La pyrolyse est, par définition, le résultat du chauffage du bois en l'absence d'air. Celui-ci donne naissance à un résidu charbonneux (10 à 30 % de la masse de matière sèche du départ) et des produits volatils (la partie libérée sous forme de gaz, lors de l'échauffement, se

monte, selon l'essence de bois, à environ 80 à 90 % du poids du bois). Le bois est donc décomposé en charbon de bois et en gaz. Ces derniers sont soit des gaz permanents (principalement du CO₂ et de la vapeur d'eau et, en moindre proportion, des gaz combustibles tels du CO, du H₂ et des hydrocarbures), soit des produits condensables appelés jus pyrolygneux.

La gazéification est une transformation chimique cassant en gaz et carbone les molécules plus simples des nouveaux constituants résultant de la pyrolyse. Sont également produits par la réaction des hydrocarbures sous forme liquide et des goudrons.

A partir d'une certaine température (entre 300 et 350 °C), les gaz de pyrolyse dégagés par la décomposition du bois s'enflamment en présence d'oxygène. Ces gaz brûlent en de longues flammes jaunes de diffusion. Les gaz les plus difficilement combustibles brûlent à partir de 550 °C.

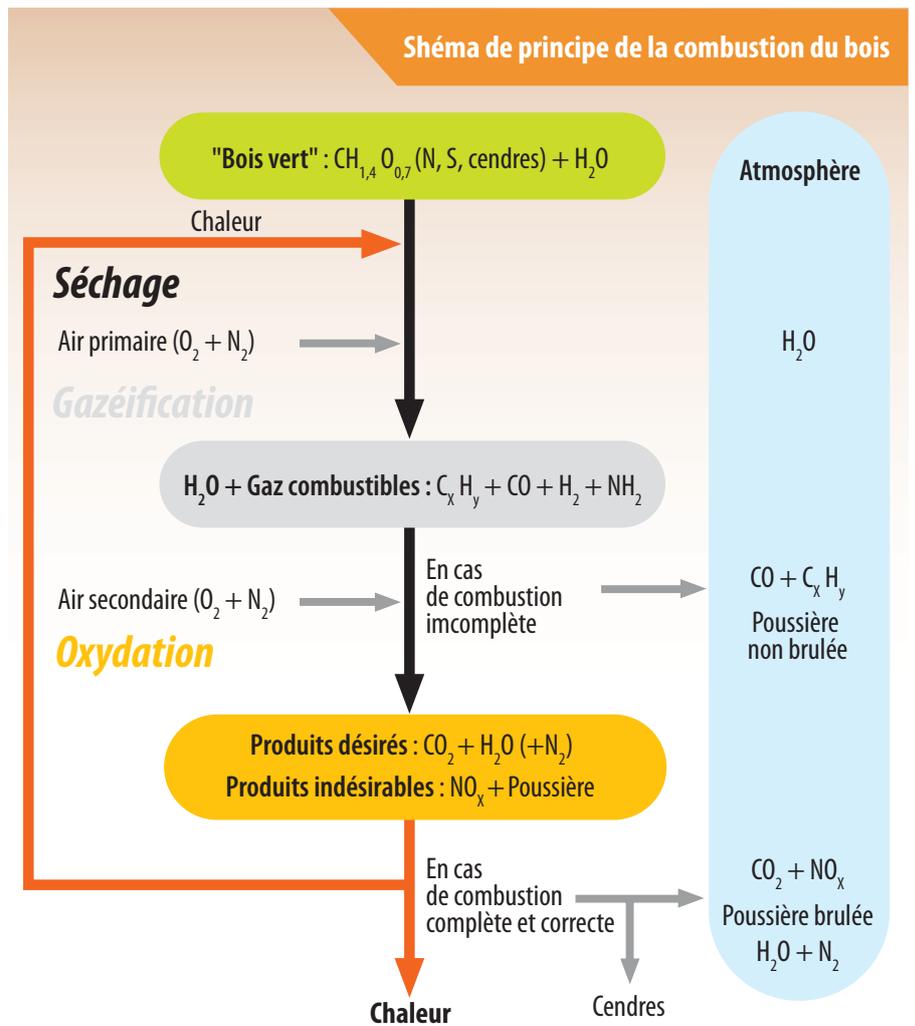
La combustion finale touche principalement deux domaines : les gaz (CO, CO₂, H₂, CH₂, H₂O...) et le carbone. Lorsque le processus de pyrolyse est terminé et qu'il n'y a plus de flammes faute de matières volatiles à brûler, il ne reste plus qu'un résidu charbonneux rougeoyant qui rayonne encore fortement car sa surface extérieure peut atteindre une température de 800 °C. A la fin de la combustion, il ne reste théoriquement que des cendres (environ 1 % de la masse introduite).

Conditions d'une combustion optimale

La maîtrise des différentes phases précédentes conditionne le bon déroulement de la combustion et le rendement de la chaufferie.

La condition principale à toute bonne combustion consiste à brûler complètement les gaz à haute température. Pour ce faire, la longue flamme engendrée par la combustion du bois exige une enceinte de combustion de grande taille. Une température de 800°C au moins est indispensable pour assurer la combustion complète, ainsi qu'une durée de séjour suffisante des gaz dans les zones à haute température. Ceci signifie que la flamme ne doit pas être refroidie, par exemple sur des parois froides.

Pour obtenir une température de combustion élevée, il faut que l'humidité



(Source : ouvrage "Etudes et projets de chauffage automatique au bois" - PACER - N° 724237F - 1995)

du bois soit adaptée à la technologie de combustion, mais également que le rapport combustible / air soit optimal. En effet, la combustion du bois étant un process fluctuant (caractéristiques du combustible jamais totalement identiques, conditions d'introduction automatique du bois dans le foyer légèrement variables...), on ne peut apporter seulement l'oxygène suffisant à une combustion neutre.

Un excès d'air, dépendant du type de combustible et de système, est alors toujours apporté au foyer, rendant la combustion oxydante. Cependant, cet excès ne doit pas être trop important afin de ne pas refroidir le foyer, ce qui entraînerait une combustion incomplète. Pour que les gaz combustibles brûlent dans l'enceinte de combustion, il faut qu'ils entrent en contact avec l'air comburant. L'air doit donc être bien mélangé avec ces gaz, par l'amenée d'un flux suffisamment rapide ou à l'aide de dispositifs mélangeurs.

Pour réunir les conditions nécessaires à une combustion complète, la gazéifica-

tion des éléments solides et la combustion des gaz dans l'installation de chauffage doivent intervenir en des endroits séparés. L'air de combustion est alors réparti en air primaire et en air secondaire, devant être chauds lors de leur entrée dans le foyer : l'air primaire (traversant le lit de braises) est nécessaire au séchage, à la gazéification et à la combustion du charbon de bois ; l'air secondaire sert à la combustion des gaz.

Enfin, pour garantir un rendement élevé, les fumées doivent avoir cédé la majorité de leur énergie avant d'être évacuées par la cheminée : leur température doit donc être la plus basse possible, sans pour autant risquer leur condensation dans le conduit (corrosion). Pour les chaufferies collectives et industrielles, la température des fumées est de l'ordre de 150 à 180 °C.

En conclusion, il ne peut y avoir de combustion optimale sans choix de technologie, dimensionnement, installation et exploitation irréprochables !

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

>>> Erwan AUTRET (Ademe)

Quelle part le chauffage au bois (domestique, collectif et industriel) a-t-il dans la pollution de l'atmosphère ?

La pollution de l'air due à la combustion de la biomasse peut avoir des origines multiples qu'il ne faut pas amalgamer : feux de végétaux volontaires ou accidentels, combustion dans des appareils domestiques anciens et nouveaux, chaufferies collectives et industrielles.

Le niveau national actuel des émissions atmosphériques issues de la combustion de la biomasse est incontestable pour certains polluants tels que les poussières fines, les composés organiques volatils, le monoxyde de carbone, les hydrocarbures aromatiques polycycliques en raison surtout de l'utilisation du bois en maison individuelle dans de mauvaises conditions. Au niveau local, des pics de pollution peuvent temporairement être observés.

partir du bois, sa contribution aux émissions liées au bois est d'environ 1 % pour le carbone organique volatil non méthanique (COVNM) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), 2 % pour le monoxyde de carbone (CO), 3 % pour les poussières, 8 % pour les dioxines, 18 % pour le dioxyde de soufre (SO₂) et 31 % pour les oxydes d'azote (NO_x) ;

- le bois-énergie contribue pour une très faible part (moins de 2 %) aux émissions nationales de SO₂ et NO_x et à hauteur de 17 % à celles de dioxines ;
- le chauffage domestique au bois contribue de manière significative aux émissions nationales de COVNM (21 %), de poussières (25 % des PM10 et 37 % des PM2.5), de CO (3 %) et de HAP (73 %) ⁽²⁾.

Le secteur domestique contribue significativement plus que le secteur collectif et industriel aux émissions atmosphériques nationales, principalement pour les raisons suivantes :

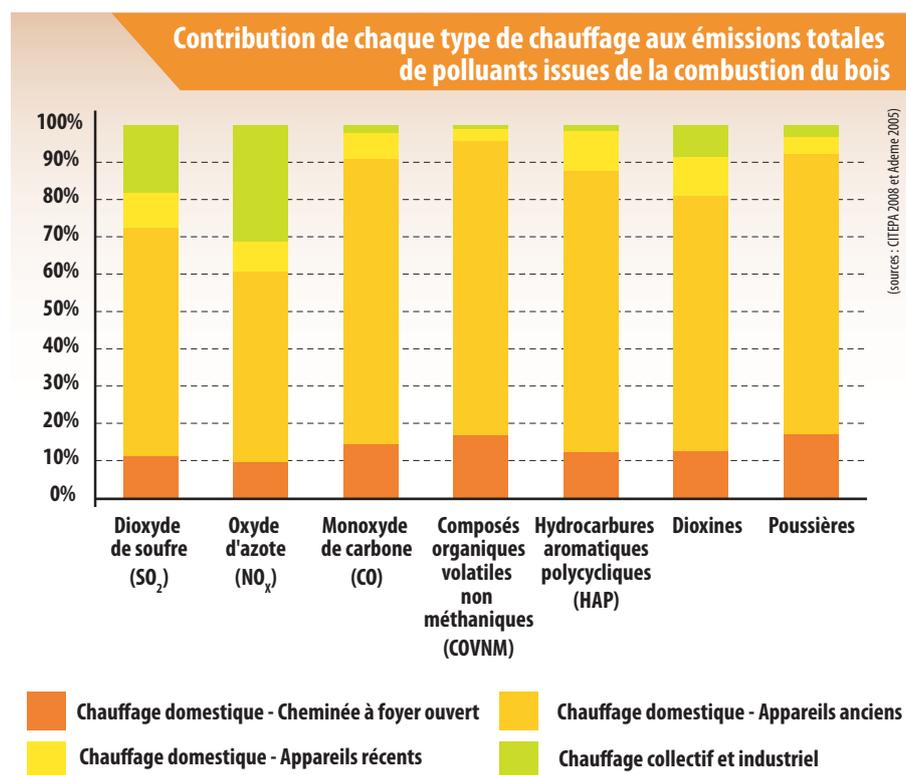
- près de 80 % du bois est consommé par le secteur domestique (pour seulement les deux tiers de l'énergie produite) ;
- la qualité du combustible utilisé dans le secteur domestique est susceptible de varier assez largement ; l'utilisation d'un combustible de mauvaise qualité (humide par exemple) contribue à l'émission de polluants atmosphériques ;
- le secteur domestique se caractérise par un important parc d'appareils anciens peu performants ; le taux de renouvellement par des appareils récents plus performants est lent (4 %

La situation actuelle

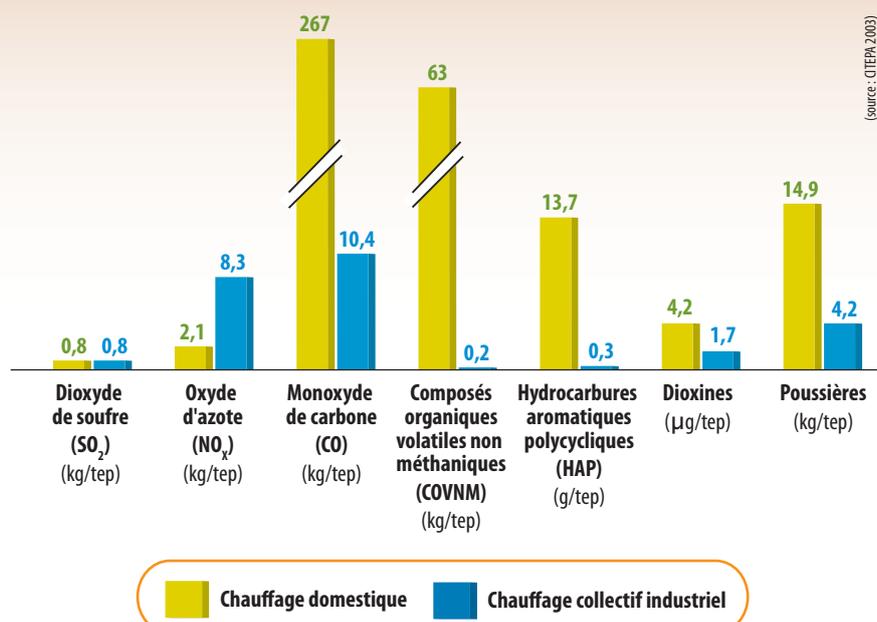
Si le bois-énergie présente des atouts indéniables en termes d'émissions de gaz à effet de serre, il peut en revanche conduire à des émissions de polluants de l'air qu'il convient de prendre en compte. Ces dernières peuvent être estimées à partir de facteurs d'émissions résultant de campagnes de mesure, et de données sur les consommations de bois.

Les inventaires publiés par le Citepa montrent la contribution estimée des différents secteurs d'utilisation du bois-énergie (domestique, industriel et collectif) aux émissions atmosphériques nationales. Il apparaît notamment que ⁽¹⁾ :

- **le secteur industriel et collectif est notablement plus performant sur le plan environnemental que le secteur domestique** ; alors qu'il représente environ un tiers de l'énergie produite à



Polluants émis lors de la combustion d'une tep de bois en France



par an, soit 25 ans pour renouveler entièrement le parc actuel) ;
 - le bilan intègre les émissions atmosphériques de tous les types d'équipements du secteur domestique, y compris les foyers ouverts et les appareils anciens (rendement énergétique inférieur à 40 %, voire 10 % pour les cheminées) dont les facteurs d'émissions par kWh d'énergie utile fournie sont nettement plus élevés que ceux des chaudières, poêles et inserts modernes (70 % de rendement minimum).

Les progrès attendus d'un renouvellement du parc de matériels

Le développement de la biomasse comme source d'énergie (chaleur, électricité) n'est aujourd'hui soutenable que s'il s'accompagne d'un objectif environnemental ambitieux de réduction des émissions atmosphériques.

Au préalable, il est absolument nécessaire de résorber la pollution due au parc des appareils anciens (plus de cinq ans) utilisés dans l'habitat individuel. Ceux-ci participent en effet à hauteur de 75 % des émissions du chauffage domestique au bois contre 10 % pour les appareils récents (et 15 % pour les cheminées à foyer ouvert). Une évaluation aux horizons 2010 et 2020 des émissions liées à la combustion du bois dans le secteur domestique, menée par l'Ademe en 2005 ⁽³⁾, montre **une réduction possible et importante des émissions de polluants atmosphériques d'ici à 2020** : 40 à 58 % pour le SO₂, les NO_x, les HAP, les dioxines et les métaux, 67 à 75 % pour le CO et 76 à 85 % pour les COVNM et les poussières. Cette forte diminution est liée à trois facteurs :
 - l'amélioration des rendements des appareils : à chaleur fournie identique,

la consommation de combustible est moindre, ce qui diminue mécaniquement les émissions ;
 - le renouvellement du parc, qui permet l'introduction d'appareils à émissions plus faibles (cas des COV, du CO et des particules) ;
 - les progrès en matière d'isolation qui permettent une diminution des besoins de chaleur dans les logements.
 Ensuite, la seconde priorité est d'encadrer le développement de la biomasse énergie, avec non seulement la généralisation des équipements à haute performance environnementale mais aussi la mise en service, de préférence, d'installations classées pour la protection de l'environnement (puissance thermique supérieure à 2 MW).
 Enfin, le développement de connaissances via des actions de recherche et développement pour améliorer le bilan global de la filière en matière de pollution de l'air ainsi que des opérations de communication et sensibilisation pour promouvoir les bonnes pratiques auprès des fabricants et des utilisateurs sont également nécessaires. A ce dernier titre, l'Ademe recommande aux particuliers de toujours utiliser du bois de chauffage de qualité (propre et sec), de choisir des appareils labellisés "Flamme verte", mais aussi d'entretenir leurs équipements et de ramoner les conduits de fumées très régulièrement.

(1) Année 2006, source Citepa 2008.

(2) Somme des HAP tels que définis par la CEE-NU (Commission économique pour l'Europe des Nations Unies) : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et indéno(1,2,3-cd)pyrène.

(3) Selon différentes hypothèses optimistes et pessimistes qui prennent en compte le coût des énergies fossiles, les besoins énergétiques des logements, la vente des appareils de chauffage au bois et leurs performances.

RHONALPÉNERGIE
 Environnement

Agence Régionale de l'Énergie et de l'Environnement de Rhône-Alpes

Trois missions principales :

- > Animation d'un centre de ressources et d'échanges,
- > Conseil et accompagnement des collectivités territoriales et des bailleurs de logements sociaux dans le montage et le suivi d'opérations,
- > Accompagnement et mise en œuvre de programmes ou d'actions collectives sur un territoire.

Domaines d'intervention :

- > Utilisation rationnelle de l'énergie et promotion des énergies renouvelables,
- > Protection de l'environnement et mise en pratique du développement durable.

Rhônealpenergie-Environnement - 10 rue des Archers - 69002 Lyon - Tél. : 04 78 37 29 14
 Courriel : raee@raee.org - Site Internet : www.raee.org

LA FORESTIÈRE DU NORD
 9 1 4 3 0 I G N Y - F R A N C E
 Tél. : +33 (0)1 69 41 32 06
 Fax : +33 (0)1 69 41 83 16

Prix d'été!

Bois de chauffage sec

Produits NF :
 100 % bois dur, sec et stocké sous abri

Une gamme complète

Livraison partout en France

RENSEIGNEMENTS :
 01 69 41 32 06
 www.forestiere-du-nord.com
 forestieredunord@wanadoo.fr

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

>>> Serge COLLET (Ineris - Institut national de l'environnement industriel et des risques)

Quels sont les composés organo-halogénés et les métaux émis lors de la combustion du bois ?

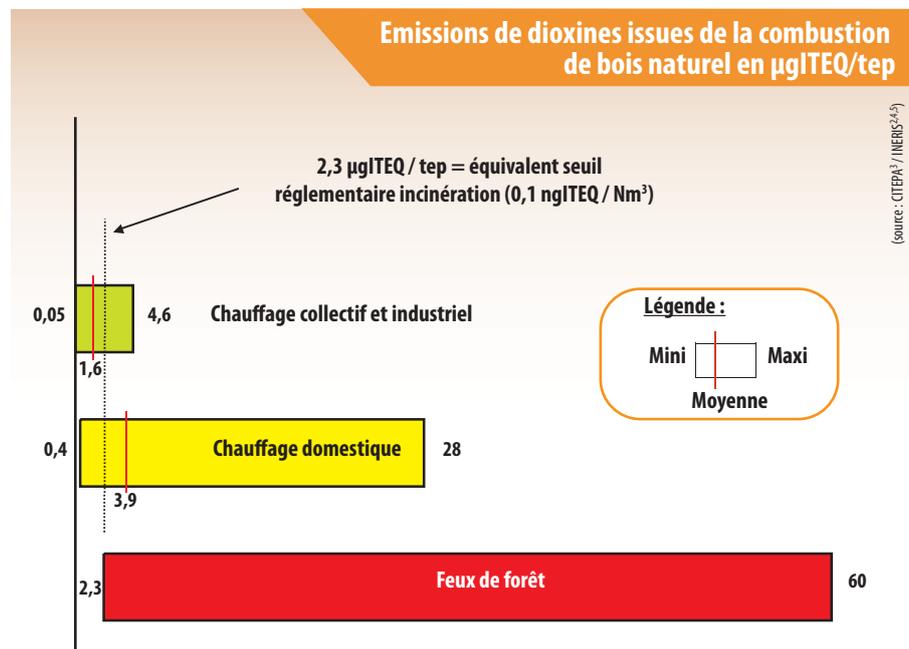
L'inventaire national des émissions polluantes réalisé par le Citepa ⁽¹⁾ met en évidence que la part de la combustion du bois dans les émissions totales est, en 2006, de 17 % pour les dioxines, 18 % pour le plomb, 28 % pour le zinc et 30 % pour le chrome. Les émissions issues de la combustion du bois sont déterminées à partir de facteurs d'émission spécifiques à chaque type d'appareil de chauffage et des quantités estimées de bois brûlé.

Les émissions de dioxines, zinc et chrome du secteur résidentiel décroissent, mais cette diminution se fait toutefois moins rapidement que pour l'incinération et l'industrie en général : la part du résidentiel ne cesse donc de croître dans les émissions de ces polluants (respectivement 16, 22 et 24 % des émissions en 2005).

Emissions de dioxines

Les émissions de dioxines issues de la combustion du bois sont liées à la présence de chlore (moins de 0,03 % dans le bois ⁽²⁾) et d'éventuels catalyseurs (métaux favorisant la synthèse des dioxines) dans le combustible et aux conditions de combustion. D'une manière générale, meilleures sont ces dernières, moins les quantités de polluants émis sont importantes. La production de dioxines est également influencée par l'essence du bois et la présence de feuillage ou d'autres végétaux, d'où l'importance du facteur d'émission des feux de forêt.

Grâce à des conditions de combustion bien maîtrisées, les chaufferies collectives et industrielles au bois sont performantes. La teneur des fumées en dioxines est en moyenne de 0,07 ng/Nm³ (en équivalent toxique interna-



tional – ITEQ), les valeurs observées allant de 0,002 à 0,2 ngITEQ/Nm³ selon les combustibles et les équipements de dépoussiérage des fumées ⁽³⁾ : elles sont inférieures ou du même ordre de grandeur que le seuil réglementaire (0,1 ngITEQ/Nm³) imposé aux usines d'incinération d'ordures ménagères (UIOM). Précisons que les dioxines émises se redéposent à proximité de leur site de production ; compte tenu de sa taille (100.000 t/an de déchets), **une UIOM aux normes, c'est-à-dire traitant les dioxines, émettra 10 à 100 fois plus de dioxines qu'une chaufferie collective de taille moyenne sans traitement des dioxines** (3 MW, 5.000 t/an de bois).

Pour le chauffage domestique, une teneur d'environ 0,17 ngITEQ/Nm³ paraît représentative du secteur (valeurs comprises entre 0,019 et

1,2 ngITEQ/Nm³) ⁽²⁾, en prenant notamment en compte la variabilité de fonctionnement des appareils. En effet, ceux-ci émettent en moyenne deux à trois fois plus de dioxines au ralenti qu'à pleine puissance (il faut donc veiller à ne pas surdimensionner les installations). Ce résultat appelle deux commentaires :

- l'importante quantité de bûches utilisées par les ménages français confère au chauffage domestique au bois un poids significatif dans le bilan national des émissions de dioxines ;
- mais la dispersion des équipements sur le territoire national, notamment en milieu rural, implique une quantité émise dans l'environnement immédiat extrêmement faible (sauf cas particulier d'un regroupement important de poêles et foyers fermés). Le développement du bois-énergie et la réduction des

émissions de dioxines dans l'industrie pourraient accroître la proportion de dioxines issues de la combustion du bois dans les années à venir (ceci n'implique pas forcément une augmentation des émissions en valeur absolue). Les émissions des autres composés organohalogénés tels que les polychlorobiphényles (PCB) sont plutôt faibles par rapport à celles des dioxines.

Emissions de métaux lourds

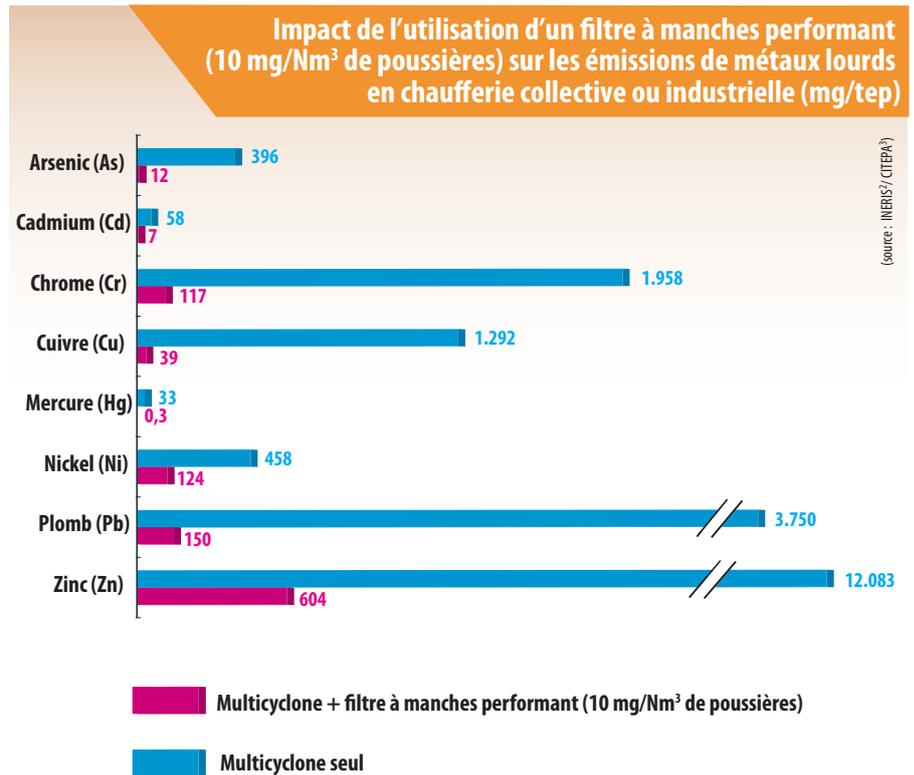
Au cours de leur croissance, les arbres accumulent des métaux lourds qu'ils captent dans leur environnement. De leur teneur dans le bois dépendent évidemment les émissions lors de la combustion.

Les métaux ont tendance à condenser à la surface des particules fines et sont donc essentiellement présents dans les fumées sous forme particulaire, à l'exception de quelques éléments tels que le mercure, le sélénium, l'arsenic et le plomb, partiellement présents sous forme gazeuse. D'après les travaux réalisés par le Citepa⁽³⁾, leurs émissions semblent peu influencées par la puissance des installations, y compris pour les chaudières collectives au bois quand elles ne sont équipées que de multicyclones pour le dépoussiérage des fumées. Ces équipements captent les cendres volantes, mais pas les particules les plus fines : **pour réduire les émissions de ces dernières, il faut, en aval du multicyclone, un filtre à manches ou un électrofiltre** (la réglementation sur les poussières l'impose en pratique actuellement sur les chaudières de plus de 4 MW). **Les plus performants de ces équipements permettent d'obtenir des teneurs en poussières inférieures à 10 mg/Nm³, et donc de réduire de plus de 95 % les émissions des métaux lourds qui leur sont associés**⁽²⁾ (à l'exception du cadmium — 87 % — et du nickel — 73 %).

Par ailleurs, rappelons que les métaux lourds sont également présents dans les cendres sous foyer et qu'une gestion adaptée de celles-ci est nécessaire.

Le cas particulier des bois traités ou en mélange avec des déchets

Les émissions de dioxines et métaux lourds issues de la combustion de bois traités ou souillés varient dans une



large fourchette, tant en chaudière collective qu'en foyer domestique. Elles dépendent de la nature et de la quantité des produits de traitement utilisés.

Ainsi, en prenant l'exemple des panneaux de particules brûlés en chaudière, les données de la littérature internationale mettent en évidence des émissions de dioxines du même ordre de grandeur ou supérieures à celles du bois naturel (0,05 à 27 µgITEQ/tep correspondant à des teneurs à l'émission comprises entre 0,002 et 1 ngITEQ/Nm³). Quant aux déchets de l'industrie de l'ameublement et aux bois de démolition brûlés en chaudière, les facteurs d'émission déterminés peuvent atteindre des valeurs 300 fois supérieures (390 µgITEQ/tep) à la moyenne retenue pour le bois naturel. **Les déchets peints ou traités avec de multiples produits (préservation du bois, retardateurs de flamme...) peuvent également contenir de nombreux métaux** tels que le plomb, le cobalt, le manganèse, le cuivre, le chrome, l'arsenic et le zinc en quantité importante. **D'où l'intérêt, comme le prévoit la réglementation, de les éliminer dans des installations appropriées.**

En ce qui concerne le chauffage domestique, certaines pratiques consistant à ajouter divers déchets

non ligneux dans le foyer sont susceptibles de générer d'importantes émissions de dioxines et de métaux. L'ajout de papiers, cartons, prospectus peut multiplier les émissions de dioxines par 5 par rapport à du bois naturel, celui de bois flottés (dont les teneurs en chlore sont supérieures à celles du bois naturel) par 20 au moins et celui d'emballages contenant du PVC ou de déchets de bois peints par 50 à 60. Une information doit être délivrée au public afin d'éviter ces dérives.

Enfin d'autres pratiques malheureusement encore très courantes telles que l'élimination de déchets de chantier par brûlage à l'air libre sont totalement à proscrire.

(1) "Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France - Séries sectorielles et analyses étendues - SECTEN", Citepa, février 2008. Disponible sur www.citepa.org.

(2) "Facteurs d'émission - Emissions de dioxines, de furanes et d'autres polluants liés à la combustion de bois naturels et adjuvants", Ineris, février 2000. Disponible sur www.ineris.fr.

(3) "Estimation des émissions de polluants liées à la combustion du bois en France", Citepa, 2003.

(4) "Emissions liées à la combustion du bois par les foyers domestiques", Ineris, mai 2002.

(5) "Facteurs d'émission de polluants de feux simulés de forêt et de décharge", Ineris, novembre 2004. Disponible sur www.ineris.fr.

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

>>> Dominique JACQUES (Rhônalpénergie Environnement)

Quels impacts la combustion du bois a-t-elle pour les riverains en zone urbanisée ou en milieu rural ? Faut-il différencier la réglementation selon la densité de population ?

Bien identifier et caractériser les sources des polluants

La pollution de l'air atteint des niveaux qui inquiètent les autorités et dépassent parfois les normes de qualité fixées par la directive européenne. L'augmentation du nombre de particules fines, de la teneur en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et de composés organiques volatils (COV), entre autres, serait responsable de plusieurs centaines de milliers de décès prématurés par cancers ou maladies pulmonaires ou respiratoires chaque année en Europe. Parmi les causes de cette augmentation, une part est liée au trafic automobile, aux combustibles fossiles et aux rejets industriels, mais une part importante provient de la destruction / combustion de la biomasse : brûlage naturel ou volontaire à l'air libre de bois ou de déchets verts, chauffage au bois dans les foyers individuels, chaufferies collectives avec ou sans réseaux de chaleur.

Le brûlage de déchets verts à l'air libre dans les jardins demeure une pratique courante. La fumée dégagée lors de cette combustion incomplète est un mélange complexe de gaz et de particules microscopiques irritantes pour les yeux et les voies respiratoires qui peut également aggraver, voire causer, des maladies respiratoires et cardiaques. Les résidus de jardins sont aujourd'hui considérés comme des déchets ménagers.

Bien qu'interdite par l'article 84 du règlement sanitaire départemental type, leur combustion reste trop souvent tolérée et est même encadrée par des arrêtés préfectoraux pour éviter les périodes de risques d'incendies. A certaines périodes, les particules et les gaz produits s'accumulent à des taux dangereux et parfois, en l'absence de vent, sur plusieurs jours, un voile peut couvrir des villes entières ou des villages et réduire la visibilité. La combustion du bois dans les foyers individuels est très diversifiée et produit des résultats difficilement globalisables. La combustion complète du bois produit du gaz carbonique et de l'eau mais aussi des oxydes d'azote et des particules fines résultant des minéraux contenus dans le bois. Une combustion incomplète va émettre en plus du monoxyde de carbone (CO), des imbrûlés solides (suies, goudrons, charbon...), des COV, des HAP, des dioxines et furannes. **Les appareils de combustion utilisés par les ménages vont de la cheminée ouverte à la chaudière automatique de classe 3 en passant par les inserts, les poêles, les poêles de masse. Le rendement de ces appareils s'étend de 5 % à 75 %** suivant le genre, le dimensionnement, les conditions d'utilisation et la qualité du bois brûlé. Pour une bonne combustion, il faut à la fois une maîtrise de la quantité d'air introduite, un fonctionnement proche de la puissance nominale, un cycle de marche/arrêt optimisé, une

température dépassant les 800 °C sur une partie importante du trajet des gaz et un bois sec et bien préparé dans sa forme et sa taille. Dans les conditions réelles d'une utilisation individuelle, il n'y a jamais combustion complète et **la production de polluants peut varier de 1 à 100 selon le type d'appareils.**

Dans les chaufferies collectives, la combustion est beaucoup mieux maîtrisée et le dimensionnement plus adapté. Ces chaufferies utilisent souvent des combustibles grossiers et parfois humides qui rendent plus délicats les réglages, ce qui peut être à l'origine de panaches de fumée polluante, malgré la présence de filtres performants en régime normal. Les chaufferies qui alimentent des réseaux de chaleur sont en général bien dimensionnées et fonctionnent en base, à régime presque constant et à haute température, ce qui élimine certains polluants comme les dioxines. **La conception des chaudières les plus modernes associées à des filtres performants permet d'atteindre dans des conditions réelles de fonctionnement de très bonnes performances et d'envisager pour l'avenir des normes de rejets très basses de l'ordre de 10 mg/Nm³ pour les poussières.**

Raisonner et agir de façon ciblée

La qualité de l'air dépend d'un ensemble de facteurs et de la concentration dans des lieux donnés de polluants de

diverses origines. Le chauffage au bois y contribuant de manière significative, il est légitime de se poser la question de sa pertinence sous certaines formes. Certaines villes comme Paris (la Californie vient de faire de même) y ont déjà répondu en interdisant les foyers ouverts. **Les pouvoirs publics réservent leurs aides aux appareils labellisés et soutiennent les techniques performantes.** Mais face à la montée des prix de l'énergie et à l'arrivée sur le marché d'acteurs aux pratiques commerciales "agressives", les risques de dérapage vers des conditions d'utilisation peu efficace et polluante de l'énergie bois sont réels, malgré une amélioration constante des matériels mis à disposition du public. De plus l'afflux de la demande conduit les pouvoirs publics à reconsidérer leurs systèmes d'aide et à fixer des priorités. Les élus, interpellés sur la pollution de l'air constatée par des mesures fiables et constantes dans les agglomérations et dans l'obligation de se mettre en conformité avec les directives européennes, risquent de réagir en rejetant globalement la filière bois-énergie en même temps qu'un certain nombre d'activités émettrices de pollution. Y aura-t-il un zonage possible en réglementant dans les endroits les plus sensibles certaines formes du bois-énergie ? Ce zonage fera-t-il la distinction entre communauté urbaine et monde rural et s'appuiera-t-il sur des éléments fiables ? L'accumulation et la dispersion des polluants sur certaines zones sont complexes à la fois dans le temps et dans l'espace. Des incertitudes fortes

demeurent sur les temps de stagnation des particules fines et leur éventuelle remise en circulation dans l'atmosphère ou absorption définitive dans le sol, de même que sur les seuils de nocivité des HAP ou des COV. Une analyse des concentrations sur la région Rhône-Alpes montre qu'il n'est pas aisé de faire une distinction nette entre zones urbaines, périurbaines ou rurales. Un programme scientifique, le projet Pova, a montré que l'hiver, la pollution carbonée de la vallée de Chamonix est davantage liée à la combustion pour le chauffage domestique qu'à la circulation des poids lourds. Sur la pollution carbonée, l'étude Carbosol, programme européen de recherche, estime que **la destruction/combustion non maîtrisée de biomasse (feux de cheminées, agricoles et de jardins) en représente 50 à 70 % en Europe.**

La notion de zonage est donc délicate et il n'est pas sûr que les habitants des campagnes soient toujours plus assurés d'une bonne qualité de l'air que les habitants des villes malgré des sources de pollution plus dispersées et en quantités a priori plus faibles. Quelles sont alors les marges de manœuvre dont disposent les élus, en se replaçant dans une vision globale du développement durable ? **Le brûlage à l'air libre ne peut plus être toléré** et les alternatives de collecte des déchets verts, des bois d'élagage ou des produits de chantiers sont de leur ressort. Ceci semble très accessible à court terme. **L'utilisation accrue du bois comme source d'énergie** pour entretenir les forêts et conserver leur rôle de puits

de carbone, valoriser les sous-produits des première et deuxième transformations du bois, participer à l'économie locale et éviter le gaspillage des ressources fossiles **doit rester une évidence.** Mais la responsabilité des élus est clairement engagée sur la forme de cette utilisation : **le développement du chauffage individuel non performant peut être stoppé par des initiatives réglementaires sur la qualité de l'air et avec des outils comme les PRQA (plans régionaux pour la qualité de l'air) ou par leur simple pouvoir de police.** Mais ces interdictions doivent s'accompagner de la mise en place d'alternatives crédibles pour la population.

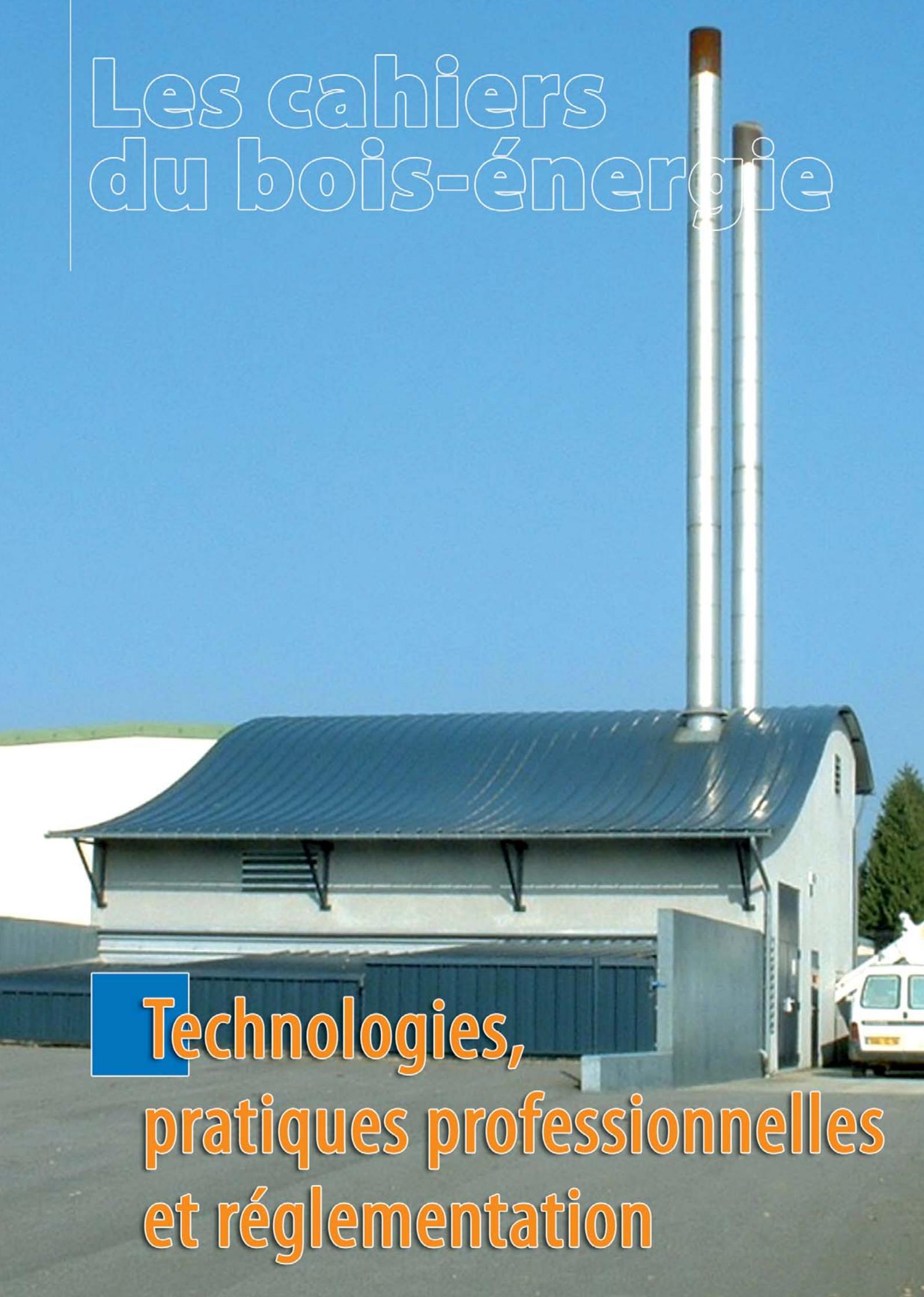
Ceci passe par une prise de conscience de leur responsabilité d'élus dans la distribution de chaleur rappelée par la loi sur l'énergie de 2006 : un encouragement au chauffage collectif au bois par réseau de chaleur allant de quelques maisons à l'ensemble d'un quartier permettrait de concilier qualité de l'air et lutte contre l'effet de serre.

Le chauffage individuel performant et les aides publiques correspondantes pourraient n'être alors autorisés qu'à défaut d'alternative collective. La liberté de choix des individus n'existe pas en termes d'assainissement pour des raisons de santé publique : il ne paraît pas déraisonnable que les élus soient également responsables de la qualité de l'air, ce qui suppose néanmoins la mise en place d'une conditionnalité des aides publiques et d'outils pour gérer correctement les alternatives aux solutions individuelles.

Chaufferie collective au bois.



Les cahiers du bois-énergie



**Technologies,
pratiques professionnelles
et réglementation**

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

>>> Alain WEBER (Ageden)

Quelles sont les performances environnementales des appareils de chauffage domestique au bois?

Caractéristiques du parc actuel d'appareils de chauffage domestique au bois

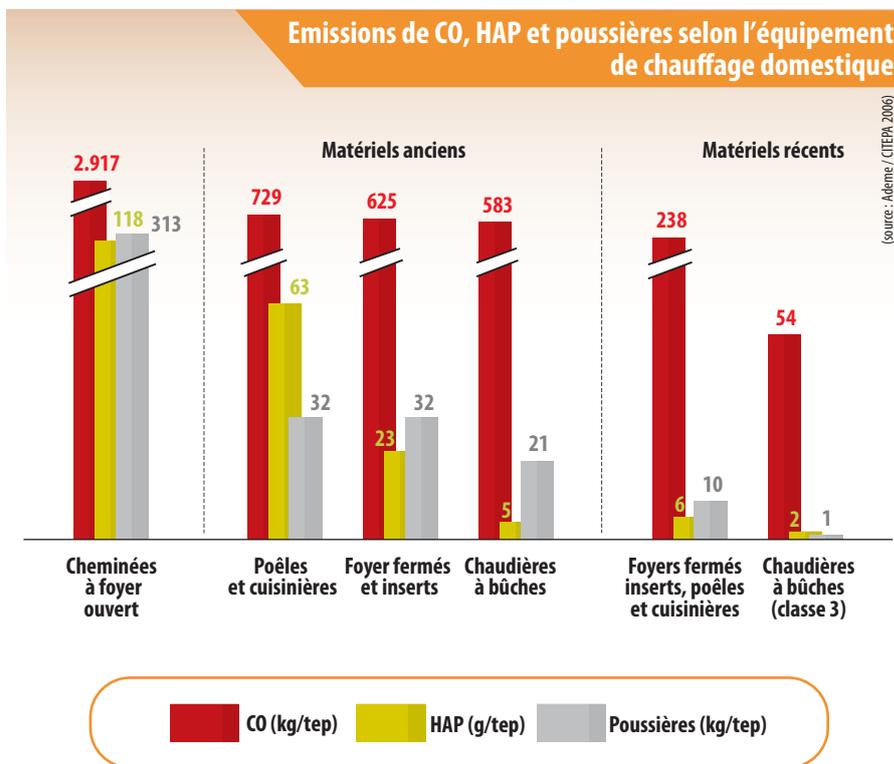
Le bois est utilisé pour le chauffage dans près de 40 % des maisons individuelles (soit 23 % des ménages français), principalement (60 %) en appoint d'une autre source d'énergie, en particulier l'électricité.

La répartition par type d'appareils est la suivante :

- cheminées ouvertes : 27 %
- foyers fermés / inserts : 45 %
- poêles : 13 %
- cuisinières : 9 %
- chaudières : 6 % (majoritairement au bois bûche)

De 1985 à 1999, les ventes annuelles d'appareils de chauffage au bois ont été divisées par deux, pour plafonner autour de 235.000 unités : les logements ayant été massivement équipés d'un appareil au bois dans les années 80 (un logement individuel sur deux, cheminée ouverte incluse), le taux de renouvellement dans la décennie qui a suivi a été réduit. Tandis que les ventes annuelles de cheminées ouvertes sont estimées constantes depuis dix ans (95.000 par an), les ventes d'appareils repartent à la hausse avec un taux de croissance annuel moyen de 5 % de 2000 à 2004 et 25-30 % de 2004 à 2006 pour atteindre 530.000 unités commercialisées en 2006⁽¹⁾.

Concernant les émissions gazeuses et particulaires liées à la combustion du bois, le secteur domestique (maison individuelle) est celui sur lequel il faut agir en priorité, pour des raisons quantitatives (c'est le mode prépondérant) et qualitatives (le moins performant). Le rendement énergétique de ce type de chauffage est resté longtemps trop



faible (moins de 50 %) avec des performances environnementales insuffisantes. Depuis quelque temps, on constate des progrès incontestables.

Des performances et des émissions polluantes extrêmement variables qui plaident en faveur des appareils de nouvelle génération.

Rappelons d'abord que le bois-énergie s'utilise sous deux formes principales qui sont d'un côté le bois bûche et de l'autre les granulés de bois et les plaquettes (aussi appelées bois déchiqueté), avec des appareils aux performances extrêmement différentes :

- les cheminées, cuisinières, poêles et inserts ;

- les chaudières à bûches avec hydroaccumulation, chaudières automatiques et poêles à granulés.

Personne ne nie le fait que les appareils anciens (ne respectant pas les normes types 303.5 ou Flamme verte) ou mal dimensionnés posent des problèmes de pollution atmosphérique comme le montrent les études réalisées au Canada ou sur Méaudre (Isère)⁽²⁾. En effet, un appareil avec un mauvais rendement et utilisant du bois pas toujours très sec émet des quantités importantes de polluants : goudrons, acides, poussières, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et CO.

Pour les seuls HAP dus au bois (77 % des émissions nationales⁽³⁾), tant sujets à polémique, près de **90 % sont imputables aux appareils d'ancienne génération et cheminées à foyer ouvert⁽⁴⁾ qui posent des problèmes sanitaires pouvant être sérieux** (notons que la contribution, importante, des feux de biomasse dans les jardins n'est pas comptabilisée). La baisse des HAP depuis 1990 est principalement à mettre à l'actif du secteur "résidentiel" et s'explique par une sensible diminution de la consommation de bois associée à un renouvellement progressif des équipements utilisés.

Pour les émissions de poussières (sujettes aussi à polémique), il existe une différence importante entre les appareils anciens et ceux de nouvelle génération. **L'utilisation d'un insert moderne permet de réduire de 7 à 30 fois les poussières émises par rapport à un foyer ouvert et les chaudières automatiques génèrent jusqu'à 80 fois moins de polluants**

comparativement aux poêles et cuisinières d'ancienne génération.

Vers une démarche qualité

Nous sommes aujourd'hui confronté à un vrai problème : avec le coût élevé des énergies fossiles et électrique, beaucoup de ménages modestes ont (ou auront) recours à un chauffage d'appoint aux bûches et ce faisant vont participer à la production de HAP et de poussières atmosphériques...

L'utilisation d'appareils types "Flamme verte" permet de réduire significativement ces émissions seulement lorsqu'ils fonctionnent à plein régime. Lors des phases de ralenti (beaucoup plus nombreuses qu'avec des chaudières automatiques), la proportion d'imbrûlés augmente (donc les polluants). L'utilisation d'un système "bûches" doit systématiquement être bien dimensionné et couplé à un ballon d'hydroaccumulation (pour un système de chauffage centralisé), afin d'éviter les phases de ralenti les plus

émétriques. Il est aussi possible de brancher un électrofiltre qui s'installe dans le conduit de fumées et permet de réduire de 60 à 90 % les émissions de particules. **Il est urgent de favoriser le renouvellement du parc d'équipements. En parallèle, il faut toujours utiliser un bois sec et un appareil bien dimensionné.** Une démarche de sobriété énergétique, favorisée par une meilleure efficacité des systèmes de chauffage et d'isolation, permettra d'utiliser le bois comme source d'énergie avec un moindre impact sur notre environnement, sans risque de pénurie de la ressource et en agissant positivement contre le changement climatique.

(1) Source Ademe.

(2) Etude "Combustion du bois et qualité de l'air", Atmo Rhone-Alpes, octobre 2007.

(3) Citepa 2008.

(4) Ademe 2005.

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

>>> Alain WEBER (Ageden)

Quelles sont les bonnes pratiques liées à l'installation et à l'utilisation d'un matériel de chauffage domestique au bois ?

Installer un appareil de chauffage dans les règles de l'art

La réglementation française s'appuie sur des documents techniques qui définissent les bonnes pratiques pour les professionnels. Au-delà de ces textes, certaines règles simples permettent d'optimiser l'efficacité des appareils de chauffage au bois : bien dimensionner la puissance des appareils et faire appel à l'inertie ou l'hydroaccumulation pour les systèmes à bûches. Enfin, l'appellation Qualibois devrait permettre d'aiguiller les usagers vers les professionnels compétents.

Les documents techniques unifiés (DTU) sont des textes concernant l'aménagement et le domaine de la construction. Ils peuvent être transcrits en norme. Pour le chauffage au bois, les DTU sont :

- DTU 24.1 pour les conduits de fumée ;
- DTU 65.11 valable pour toutes les installations de chauffage central.

Certains DTU sont ou seront remplacés par des normes (NF P 51.202, NF P 51.203, NF P 51.204) pour les foyers fermés, les inserts, les conduits de fumée.

Pour tous les appareils de chauffage, la puissance doit être adaptée aux

✓ ZOOM

Espaces Info Énergie

Les Espaces Info Énergie proposent des informations neutres et gratuites sur les énergies renouvelables et la maîtrise de l'énergie. Ils apportent notamment des conseils relatifs au chauffage au bois. Ils sont aussi en mesure d'indiquer les différents moyens d'économiser l'énergie, puisque l'énergie la moins polluante (et la moins chère) est bien celle que l'on ne consomme pas ! Pour connaître l'adresse de l'Espace Info Energie le plus proche : 0 810 060 050 ou www.ademe.fr.

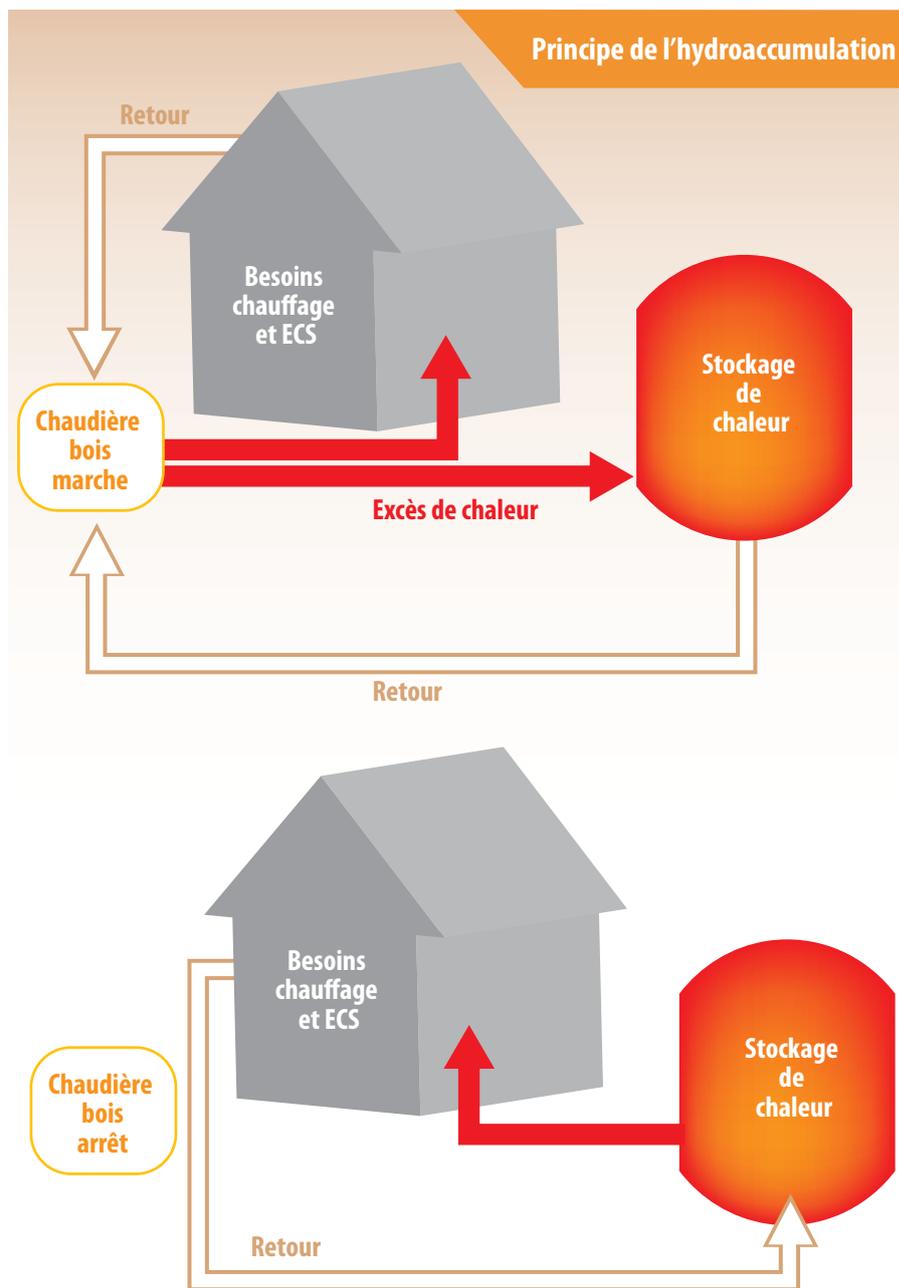
besoins. Si elle est surestimée, le rendement des appareils à bûches accuse une chute très importante. Grâce à une régulation fine de l'arrivée en combustible et en air, les appareils de chauffage automatique au bois souffrent moins d'un surdimensionnement : leurs rendements sont élevés, même lorsqu'ils fonctionnent à bas régime (jusqu'à 30 % de la puissance nominale sur les appareils les plus performants). Si la puissance est sous-estimée, l'apport de chauffage peut se révéler insuffisant pendant les périodes les plus froides. La première règle à suivre est donc de bien dimensionner la puissance en fonction du besoin de l'habitation, en tenant compte de ses déperditions thermiques et des conditions climatiques.

L'utilisation des bûches pose un problème : pour optimiser le rendement, les appareils doivent fonctionner à plein régime mais ils produisent alors en peu de temps plus de chaleur que nécessaire pour couvrir les besoins immédiats. Pour résoudre cette inadéquation, il faut stocker l'énergie et la restituer lentement (principe de l'inertie, utilisée pour les poêles de masse) ou à la demande, ce qui correspond au fonctionnement des chaudières à bûches équipées d'un ballon d'hydroaccumulation (dit aussi ballon tampon) dans lequel l'eau chaude est stockée puis distribuée en fonction du besoin. Ces techniques permettent aussi d'avoir une meilleure autonomie. L'hydroaccumulation peut également être utilisée avec les systèmes automatiques au bois dans certaines conditions.

La charte Qualibois comporte des engagements de bonnes pratiques et de qualité de service rendu aux clients pour les systèmes de chauffages au bois de moins de 70 kW. La qualification Qualibois AUTO est attribuée aux installateurs qui ont suivi un stage de deux jours spécifique au chauffage automatique ou ont déjà réalisé plusieurs installations. La liste des installateurs Qualibois est consultable sur le site www.qualibois.org.

Utiliser un combustible adapté et bien entretenir l'appareil

Qu'il soit livré par un fournisseur ou autoproduit, le bois doit respecter trois principales caractéristiques pour permettre d'optimiser le rendement de l'appareil de chauffage et limiter les



rejets atmosphériques polluants : être propre, sec et de taille adaptée.

Seul le bois brut peut être brûlé dans un appareil de chauffage domestique au bois, ce qui exclut bien entendu les panneaux de particules, les bois traités, peints ou vernis. Ces derniers ne peuvent être brûlés que dans des installations industrielles équipées de traitement des fumées spécifiques, sans quoi ils émettent dans l'atmosphère des substances chimiques toxiques préjudiciables à la santé et à l'environnement. Le bois humide cumule plusieurs défauts du fait d'une combustion incomplète : émission de gaz polluants (goudrons, oxydes, acides), encrassement de l'appareil et du conduit de fumée. Le taux d'humidité fait aussi beaucoup varier le pouvoir calorifique

du bois, et donc la quantité de bois brûlée. Ainsi, un stère de bûches peut produire entre 1.500 et 2.200 kWh suivant son taux d'humidité, un mètre cube apparent de plaquettes (map) entre 750 et 1.000 kWh. Le granulé résultant d'un processus industriel de fabrication, son taux d'humidité varie peu (à condition de le stocker à l'abri) et il contient donc environ 4.600 kWh par tonne.

Les combustibles granulé et bois déchiqueté doivent respecter une taille maximum de manière à ne pas bloquer les systèmes d'alimentation automatique. Ils ne doivent pas être poussiéreux car les éléments trop fins brûlent difficilement et se retrouvent dans l'atmosphère, emportés par les gaz de combustion. Le diamètre du granulé est généralement de 6 mm, et sa longueur comprise entre

✓ ZOOM

Normes et certification des combustibles bois

En France, seule la bûche dispose d'une norme de qualité : www.nfboisdechauffage.org. Le bois bûche certifié NF est cependant encore difficile à trouver car peu de fournisseurs sont engagés dans cette démarche. Une norme européenne appliquée aux biocombustibles est en cours de création : CEN 14961. Pour le granulé de bois, la marque de qualité "ITEBE granulé" est en voie de devenir une certification. Basée sur les normes de nos voisins européens, elle engage les producteurs adhérents à respecter une série de critères relatifs à la qualité du granulé.

1 et 3 cm. Une surface lisse et brillante est garante d'un granulé peu friable et de qualité. Pour les chaudières automatiques au bois déchiqueté de puissance inférieure à 200 kW, la taille préconisée par les constructeurs est 3 x 2 x 1 cm,

et 5 cm maximum sur le plus grand côté. Certaines chaudières ont un système d'alimentation robuste qui tolère des morceaux un peu plus gros. Les bûches mesurent généralement 33 ou 50 cm de longueur. La taille idéale permettra de

remplir le foyer au maximum pour faire fonctionner le générateur à plein régime et donc optimiser la combustion. Pour tout système de chauffage au bois, un entretien annuel de l'installation est obligatoire. Il garantit un fonctionnement optimal, une durée de vie plus longue de l'appareil et des économies de combustibles. Deux ramonages par an sont imposés par la législation pour les systèmes de chauffage au bois. Ce qu'il faut retenir, c'est qu'avec un bois sec et un entretien régulier la combustion est optimisée, entraînant un rendement maximum et une quantité d'émission polluante minimisée.

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

>>> Céline ROMAN (Dalkia)

Quelle est la réglementation applicable aux chaufferies collectives et industrielles au bois ?

La réglementation encadre la combustion du bois dans les chaufferies industrielles et collectives. Plus précisément, ce sont les installations de combustion qui sont encadrées, et les textes abordent toutes les étapes de l'opération, de la nature du combustible jusqu'aux émissions atmosphériques.

Nature du combustible

En tout premier lieu, les textes précisent la nature du combustible qui peut être brûlé en chaufferie. La définition donnée par la réglementation ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) est : "La biomasse se présente à l'état naturel et n'est ni imprégnée, ni revêtue d'une substance quelconque. Elle inclut notamment le bois sous forme de morceaux bruts, d'écorces, de bois déchiquetés, de chutes issues de l'industrie du bois, de sa transformation ou de son artisanat." Ainsi, on ne peut pas brûler n'importe

Classement réglementaire des matières ligneuses utilisables en chaufferie

Catégorie réglementaire	Matière première ligneuse	Valorisation énergétique possible	Rubrique ICPE
Combustible	Bois forestiers, bocagers et urbains Produits connexes de scierie Produits connexes de la seconde transformation "propres" Palettes, caisses-palettes, caisses (non traitées et non souillées) Emballages légers	Combustion (notamment en chaufferies collectives)	2910 A
	Bois comportant des colles, vernis et peintures sans composés organohalogénés ou métaux lourds	Combustion en chaufferies industrielles adaptées (filiale bois)	2910 B
Déchet	Palettes, caisses-palettes, caisses traitées ou souillées Bois comportant des colles, vernis et peintures avec composés organohalogénés ou métaux lourds Bois ignifugés	Incinération	167 C 322-B-4
	Bois créosotés Bois imprégnés de sels métalliques	Incinération	167 C 322-B-4 (si installation autorisée)

Valeurs limites d'émission des chaufferies de puissance supérieure à 2 MW

		Puissance inférieure à 20 MW	Puissance supérieure à 20 MW (installations nouvelles postérieures au 31 juillet 2002)	
Rubrique ICPE		2910 A (déclaration)	2910 A (autorisation)	
Référence réglementaire		Arrêté du 25 juillet 1997	Arrêté du 20 juin 2002	
Taux d'oxygène dans les fumées		11 %	6 %	
Valeur limite d'émission (mg/Nm³)	Particules	150 si P < 4 MW • 100 si P > 4 MW	50 si P < 100 MW • 30 si P > 100 MW	
	CO	250	200 si P < 100 MW • 150 si P > 100 MW	
	NO _x	500	400 si P < 100 MW • 300 si 100 < P < 300 MW 200 si P > 300 MW	
	COV	50 (en équivalent CH ₄)	110 (en carbone total)	
	HAP	—	0,1	
	SO ₂	200	200	
	Dioxine	—	—	
	Métaux	Cadmium, mercure, thallium	—	0,05 par métal 0,1 pour la somme des trois
		Arsenic, sélénium, tellure		1 pour la somme des trois
		Plomb		1
Antimoine, chrome, cobalt, étain, manganèse, nickel, vanadium, zinc		10 pour la somme des neuf si P < 100 MW 5 pour la somme des neuf si P > 100 MW		

quel bois dans une chaufferie, et d'ailleurs, la nature du bois utilisé détermine en partie le statut de celle-ci.

Taille des chaufferies

Les installations de combustion de moins de 2 MW sont un cas un peu particulier. Elles sont encadrées par le RSD (règlement sanitaire départemental) et sont contrôlées par les DDASS (directions départementales des affaires sanitaires et sociales). Leurs obligations et contrôles sont variables et relativement limités (il n'existe notamment pas de contraintes sur les émissions).

Concernant les installations de plus de 2 MW, elles sont encadrées par différentes rubriques de la réglementation ICPE, selon la taille des chaufferies et le combustible utilisé :

- la rubrique 2910 A concerne les installations de combustion brûlant de la biomasse conforme à la définition précitée ; la chaufferie est alors soit soumise à déclaration (entre 2 et 20 MW), soit à autorisation (plus de 20 MW) ;
- lorsque les produits consommés contiennent des colles ou autres adjuvants, ils ne correspondent plus à la définition de la rubrique précédente ; c'est la rubrique 2910 B qui réglemente

l'installation et la chaufferie est alors soumise à autorisation dès 100 kW, les conditions relatives aux émissions étant définies au cas par cas ;

- enfin, il convient de rappeler que les bois ne pouvant être brûlés dans une installation de combustion à cause de leur composition chimique sont orientés vers des installations spécifiques (incinérateurs de déchets industriels ou d'ordures ménagères), régies par les rubriques ICPE 167 C et 322-B.

Dans tous les cas, la réglementation oblige les acteurs à se tourner vers les préfetures (qui assurent l'instruction des dossiers) puis à mettre en place un suivi par les DRIRE (qui contrôlent l'application du dispositif). Pour les installations soumises à autorisation, la procédure comprend entre autres une enquête publique, une étude d'impact et une étude de danger. En résumé, il faut retenir que ces chaufferies, tant industrielles que collectives, sont suivies par les autorités locales.

Emissions atmosphériques

Quelle que soit la biomasse utilisée, sa combustion génère des émissions atmosphériques (comme pour tout combustible d'ailleurs). Les exploitants

de chauffage cherchent à minimiser celles-ci en optimisant le fonctionnement des installations, ce qui signifie un combustible propre associé à une conduite appropriée de la chaudière. C'est dans ces cas là que les émissions atmosphériques peuvent être limitées et maîtrisées.

Les chaufferies de moins de 2 MW ne sont soumises à aucune contrainte concernant les émissions atmosphériques. En revanche, pour les installations de puissance supérieure, la réglementation ICPE fixe des seuils, variables suivant la taille de l'installation, son emplacement (zone urbaine)...

Concrètement, lors du montage d'un projet bois, ces seuils sont intégrés dans le cahier des charges des installations : les chaufferies sont donc bel et bien conçues pour respecter ces seuils. Une fois que la chaufferie fonctionne, des mesures des émissions sont réalisées (en continu ou périodiquement suivant le composant concerné et la puissance de l'installation) et contrôlées tous les ans ou tous les trois ans par les DRIRE, selon le statut réglementaire de la chaufferie. Les DRIRE ont en outre la faculté de procéder à des contrôles ponctuels en cas de nécessité.

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

>>> Patrick OLLIVIER (RBM - Revalorisation Bois Matière)

Quelles sont les opérations de conditionnement réalisées par les producteurs / distributeurs de combustibles bois pour fournir un produit de qualité ?

Des combustibles d'origines de plus en plus hétérogènes

Les combustibles qui sont désormais utilisés dans les chaufferies bois peuvent se classer en deux catégories :

- plaquettes forestières, produites en forêt ou sur centre de broyage, à partir de rémanents et/ou d'arbres "non marchands" ;
- les mélanges "industriels", se

composant de :

- plaquettes et copeaux provenant des industries de transformation du bois ;
- écorces et sciures ;
- délignures, chutes de découpes de grumes, bois mal venus ;
- chutes de découpes de sciage ;
- bois de recyclage propres ;
- refus de criblage de compost ;
- divers connexes issus de l'agriculture.

La première catégorie peut, dans la majorité des cas, entrer directement en silo de stockage de la chaufferie, donc en combustion. En revanche, la deuxième catégorie appelle désormais, dans la majorité des cas, une transformation préalable car les produits qu'elle rassemble sont trop hétérogènes tant en humidité qu'en granulométrie et exigent une phase de préparation assez complète. Ceci tient au fait que les produits "prêts à l'emploi" ont tendance à disparaître, dans la mesure où les premières chaudières installées les ont mobilisés : il faut donc leur substituer le grand "réservoir" que représentent les

produits aptes à la combustion, mais disponibles en présentation inadaptée à leur introduction directe dans un foyer.

Une telle préparation peut se passer :

- soit sur un parc à bois dédié, pour le cas des grosses installations ;
- soit sur une plate-forme bois-énergie multi clients, pour les installations de tailles moyenne et petite ne pouvant justifier individuellement la mise en œuvre d'une plate-forme.

Des unités de préparation à installer et à adapter

Une plate-forme de production / stockage nécessite dans l'absolu :

- une aire plane et bétonnée permettant de garantir que les manutentions n'introduiront pas de terre ou de cailloux préjudiciables au fonctionnement des chaudières ; cette aire doit être complétée par un système de collecte des eaux pluviales, et donc par un bassin de stockage ;
- du matériel de broyage pour ramener les diverses matières entrées à une granulométrie compatible avec les exigences techniques des chaudières ;
- un système de déferrailage pour éliminer les éléments métalliques indésirables (clous...) ;
- du matériel de criblage pour établir des lots de granulométrie correspondant aux besoins de chaque client ;
- du matériel de manutention et chargement / déchargement ;

- d'un équipement d'analyse du taux d'humidité.

Ces matériels, de base, peuvent être soit à poste fixe sur le site, soit mobiles et amenés en fonction des besoins ; cette dernière solution convient bien aux périodes de démarrage et de montée en puissance jusqu'à atteinte du seuil qui permettra de rentabiliser des matériels fixes. En outre, la plate-forme peut être complétée par :

- un hangar de stockage, qui permettra de faire sécher certains produits, mais aussi de maintenir un taux d'humidité constant dans les mélanges déjà préparés ;
- une bascule, qui facilitera les transactions, tant en entrée qu'en sortie de matières.

Ce sont des investissements lourds : pour une plate-forme pouvant traiter de l'ordre de 20.000 tonnes par an, l'investissement est estimé à environ un million d'euros.

Les contrôles effectués par le gestionnaire de plate-forme

Le gestionnaire de plate-forme effectue des contrôles tout au long du cycle de production / stockage / expédition :

- à la réception des produits :
 - contrôle visuel de la qualité (en particulier propreté et absence de corps étrangers), élimination des bois souillés ;
 - réalisation de mesures d'humidité ;

- durant la préparation et le stockage des produits :

- contrôles visuels en entrée de broyage ;
- classement des produits par dimension, élimination des morceaux hors normes ;
- composition des mélanges adaptés aux spécifications des clients ;
- contrôles d'humidité ;
- stockage adapté aux différents types de produits ;
- analyses physico-chimiques ;
- propreté générale du site de façon à se prémunir contre l'introduction de corps étrangers (vent, manutentions...);

- à la sortie des produits :

- humidité ;
- densité (par relation entre le volume et le poids du chargement) ;
- protection des produits durant le transport ;
- et bien entendu réception contradictoire par le client.

Malgré tout le soin apporté par le gestionnaire de plate-forme, il peut se produire des défauts de qualité, généralement liés à l'hétérogénéité des origines des matières. De tels incidents, hélas statistiquement inévitables, même en petit nombre, peuvent se réduire s'il existe une vraie collaboration entre

vendeur et client : plus vite un incident est signalé, plus rapide et efficace sera la mesure correctrice.

Par ailleurs, la définition même du produit à livrer est souvent, si ce n'est toujours, quelque chose à établir en partenariat entre l'approvisionneur et le consommateur, en fonction des produits disponibles d'un côté et de l'apprentissage de la conduite et du fonctionnement de la chaudière de l'autre : il n'existe pas d'absolu en la matière, simplement un juste équilibre, non seulement à élaborer mais même à faire évoluer.

Cas particulier des bois issus du recyclage

Les bois issus du recyclage présentent un intérêt certain pour le bois-énergie dans la mesure où il s'agit le plus souvent de produits secs, donc à bon pouvoir calorifique.

En revanche leur collecte et leur incorporation à des mélanges de combustibles bois doivent être soumises à des contrôles particulièrement stricts, dans la mesure où la réglementation encadre de manière très précise leur capacité à être utilisés en chaufferies.

Schématiquement, le processus doit être :

- rejet des bois imprégnés (dits de classe C) qui en aucun cas ne peuvent entrer en combustion ; ces bois (traverses de chemin de fer, poteaux téléphoniques et électriques, rondins pour aménagements routiers...) sont généralement éliminés par sélection visuelle, leurs caractéristiques physiques les rendant facilement identifiables ;

- séparation des bois de classe A (essentiellement palettes et emballages propres) et des bois de classe B (bois peints, mélaminés...), faite soit par sélection du fournisseur primaire, soit visuellement sur le centre de rassemblement ; les bois de classe A sont les seuls bois de recyclage pouvant être utilisés sans contraintes particulières en chaufferie ; ils doivent toutefois subir un pré-broyage et un déferrailage sévère, puis un broyage fin, avant d'être incorporés dans la chaîne de préparation du combustible ;

- les bois de classe B peuvent être utilisés en fabrication de panneaux de particules, dans les usines équipées de chaînes de traitement / nettoyage de ces produits ; dans certains pays, et sous réserve d'une préparation particulière (broyage fin et élimination des poussières), ils sont autorisés en combustion. ●



Stockage de plaquettes forestières sur plate-forme.

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

>>> Christophe PASCUAL (Elyo Cylergie)

Comment procèdent les exploitants de chauffage pour conduire une installation et limiter les émissions gazeuses et particulaires ?

Si les combustibles fossiles, liquides ou gazeux, ont des caractéristiques très standardisées, il n'en va pas de même de la biomasse. Sa nature, son humidité, la filière dont elle est issue vont imposer des caractéristiques thermiques, dimensionnelles, des teneurs en impuretés plus ou moins indésirables. Il en résulte que chaque chaudière biomasse est conçue pour brûler une gamme donnée de combustibles définie principalement par une granulométrie et un pouvoir calorifique. Pour obtenir un fonctionnement le meilleur possible de sa chaudière bois, et garantir le service à son client, le gestionnaire doit vérifier en permanence que la qualité du combustible est compatible avec l'installation, et doit adapter les réglages de cette dernière pour tenir compte de la variabilité acceptable des approvisionnements. En outre, cette bonne adéquation assurée en continu induira une efficacité énergétique optimale, permettant une utilisation économe de la ressource et des émissions gazeuses les meilleures possibles.

Les émissions gazeuses et particulaires

Les fumées de combustion de bois contiennent en proportion plus ou moins significative des molécules gazeuses organiques, provenant d'une combustion imparfaite : monoxyde de carbone (CO), composés organiques volatiles (COV), ou inorganiques, oxydes d'azote et de soufre, chlore... La concentration des composés organiques et du CO est directement maîtrisée par

des réglages qui garantissent un excès d'air adapté et une température suffisante. Dans une moindre mesure les actions de conduite peuvent aussi agir sur les oxydes d'azote, dont la formation dépend en partie des conditions de température du foyer. Mais ces actions doivent être correctement dosées. Si par exemple l'augmentation de la température diminue les imbrûlés, elle va augmenter les émissions d'oxydes d'azote : il faut donc trouver le bon compromis.

Les teneurs en chlore et soufre des fumées sont directement liées aux concentrations de ces éléments dans le combustible. Si celles-ci sont tout à fait marginales dans les combustibles issus de la sylviculture, et ne posent alors aucun problème d'émissions, il n'en va pas de même pour certains combustibles d'origine agricole (paille, miscanthus, tourteaux de colza...). Un contrôle vigilant des approvisionnements est donc le garant de bonnes émissions pour ces éléments.

Les poussières contenues dans les gaz de combustion proviennent en partie des fractions fines du combustible, et en partie des cendres produites lors de la combustion et entraînées dans le courant gazeux. Un bon réglage des débits d'air limitant les vitesses et les turbulences dans le foyer permettra de maîtriser la production de particules. Ces particules seront ensuite captées dans des organes de dépoussiérage dont l'efficacité peut être supérieure à 99 % s'ils sont adaptés et correctement exploités.

L'exploitation d'une chaudière bois

Pour garantir des émissions respectant la réglementation, il faut maîtriser les caractéristiques du combustible, effectuer les réglages adaptés et maintenir l'installation en bon ordre de marche. Toutes actions qui sont au cœur de la démarche d'exploitation.

Un technicien formé à la conduite de ce type d'installations sera à même de prendre en compte ces différents éléments, de réaliser les bons compromis et de réagir correctement à toute dérive. Il le fera d'autant plus facilement que l'installation disposera d'équipements de conduite automatique, s'appuyant sur des mesures continues : températures à différents niveaux du procédé, oxygène résiduel, teneur en poussière, teneurs en polluants gazeux... Compte tenu de leur coût, ces dispositifs ne peuvent être mis en œuvre que sur des installations de taille suffisante (à partir de quelques centaines de kW). Il apparaît donc que, paradoxalement, la biomasse, énergie dont la production est très décentralisée, se prête mieux à une utilisation dans des installations procurant un niveau suffisant de centralisation.

L'importance du contrôle des approvisionnements en combustible

Comme cela a déjà été mentionné, une qualité adaptée du combustible est déterminante pour une bonne maîtrise des émissions. Mais le combustible

idéal n'existe pas. Vouloir brûler des écorces à 60 % d'humidité dans un foyer conçu pour des palettes broyées sera aussi irréaliste que vouloir brûler des plaquettes sèches dans un foyer conçu pour des écorces. Dans les deux cas, il sera impossible d'obtenir une combustion stable, la chaudière subira rapidement des dommages importants et les émissions gazeuses seront de très mauvaise qualité (poussières, imbrûlés, oxydes d'azote...).

Un contrat d'achat précisant notamment la plage acceptable de variation des caractéristiques du combustible doit être signé entre l'exploitant et son fournisseur, le premier devant être présent à chaque livraison pour s'assurer que le bois livré est conforme aux spécifications contractuelles. Dans un pre-

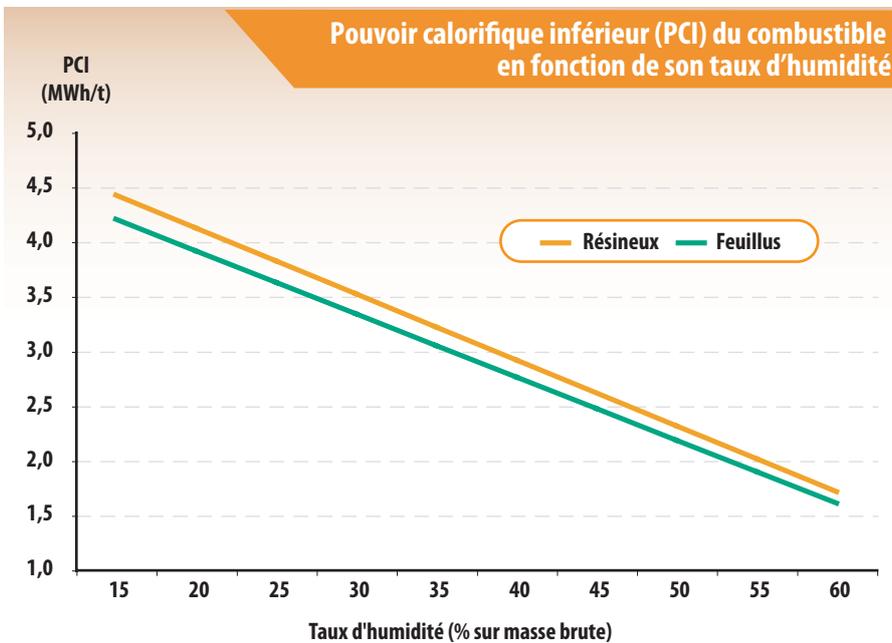
mier temps, un contrôle visuel lui permettra de détecter les plus grosses anomalies : non-conformité de la nature du combustible, présence de corps étrangers, d'impuretés... Il réalisera ensuite une mesure du taux d'humidité du chargement, procédure simple lui permettant d'évaluer son pouvoir calorifique. Car, comme le montre la courbe suivante, ce dernier est quasiment uniquement dépendant de la teneur en eau du combustible.

Pour mesurer l'humidité il faut confectonner un échantillon représentatif du chargement, chaque site devant définir un protocole adapté à son contexte (mode de livraison, type de stockage). L'humidité est ensuite mesurée par dessiccation de l'échantillon dans une étuve. Cette méthode est à préférer à la

méthode au four à micro-ondes car plus fiable, moins contraignante en termes de mobilisation du technicien et plus sûre (pas de risque d'incendie de l'échantillon). L'exploitant adapte ensuite les réglages de son installation aux observations et mesures qu'il aura faites.

Bien maîtriser l'exploitation de l'installation

L'utilisation d'un combustible biomasse implique, de par ses caractéristiques, des installations de combustion et une gestion complexes et techniques. La maîtrise des émissions gazeuses fait partie des points les plus cruciaux de cette gestion. L'exploitant, en adaptant en continu le fonctionnement de sa chaudière aux caractéristiques du combustible, est le garant d'un impact environnemental le plus faible possible de son installation. Il tiendra son rôle d'autant plus efficacement que son outil industriel sera doté de moyens suffisants de réglage, de mesure et de régulation, c'est-à-dire qu'il dépassera une taille minimale en dessous de laquelle les coûts de tels équipements rendent impossible leur mise en place. Plus généralement, cette démarche et ces moyens concourent aussi à optimiser les conditions de fonctionnement des chaufferies : elles limitent les risques d'incidents, prolongent leur durée de vie et améliorent l'efficacité énergétique des installations, permettant ainsi une gestion encore plus durable de la ressource.



Les Hors-série de 2007

Exploitation et matériels d'abattage

Spécial logiciels

Le débardage des bois et ses techniques

Spécial parquets

À commander au 04 77 74 32 22 ou à télécharger sur www.leboisinternational.com

3,50 €*

* Frais de port inclus

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

>>> Grégory RAT (Weiss France), Michel COMPTE (Compte-R.), Stéphane COUSIN (Biomasse Normandie)

Quels traitements de fumées prévoir et quelle performance peut-on en attendre ?

Les fumées ou “émissions atmosphériques” correspondent aux gaz de combustion (principalement CO_2 et vapeur d'eau) et aux particules qu'ils entraînent. Leur composition est variable selon :

- les caractéristiques du combustible (composition chimique, taux d'humidité, granulométrie) ;
 - l'allure et le nombre d'heures de fonctionnement de la chaudière ainsi que le réglage des paramètres de combustion.
- Le traitement ou la filtration des fumées issues des chaufferies collectives au bois consiste à séparer les particules solides (poussières et fines) des gaz de combustion avant rejet de ces derniers dans l'atmosphère (et éventuellement à réduire les polluants gazeux si nécessaire).

En sortie d'un échangeur à tubes de fumées triple parcours classique, le taux de poussières est de l'ordre de 2.000 à 2.500 mg/Nm^3 à 11 % d'oxygène. Dans les chaufferies de puissance inférieure à 4 MW, les particules fines sont extraites par voie gravitaire (multicyclone) pour descendre le taux en dessous de 150 mg/Nm^3 . Pour les chaufferies de puissance supérieure, les contraintes réglementaires sont plus importantes : on adjoint au multicyclone un filtre à manche ou un électrofiltre pour atteindre 50 mg/Nm^3 voire moins.

Le multicyclone

Le multicyclone est une caisse étanche dans laquelle sont disposés des cyclones de petit diamètre (150 à 250 mm). Le dépoussiérage est effectué par

différence de densité entre éléments solides et gazeux en deux phases : centrifugation puis sédimentation. Les particules de suie et de poussières sont recueillies dans un pot à suies accroché à la base du dépoussiéreur. Ce système présente l'avantage d'être simple, fiable (aucune pièce mécanique en mouvement) et d'un coût d'exploitation quasi nul (aucune intervention n'est nécessaire hormis un nettoyage périodique des cyclones). Le seuil de 150 mg/Nm^3 à 11 % d'oxygène fixé par la réglementation en vigueur pour les chaudières de moins de 4 MW est atteint à condition d'utiliser un combustible contenant moins de 5 % de fraction granulométrique fine. Toutefois, si on considère la granulométrie des particules, son efficacité est limitée : captant plus de 85 % des poussières de plus de 10 microns, il laisse passer la très grande majorité de celles de taille inférieure qui ont l'impact le plus important sur le système respiratoire.

Le filtre à manches

Le filtre à manches est un élément complémentaire du multicyclone. Plusieurs technologies existent ; si elles ont toutes les mêmes performances en instantané,

leur exploitation est très différente. La plus pertinente consiste à placer des manches horizontales montées sur un treillis métallique dans une caisse étanche. De façon régulière, des chasses d'air comprimé sont faites sur les manches pour les décolmater (sans perturbation de la qualité de filtration), les fines étant récupérées dans une trémie. En fonction du type de combustible et d'éventuels traitements complémentaires des fumées, les matériaux constitutifs des manches peuvent varier.

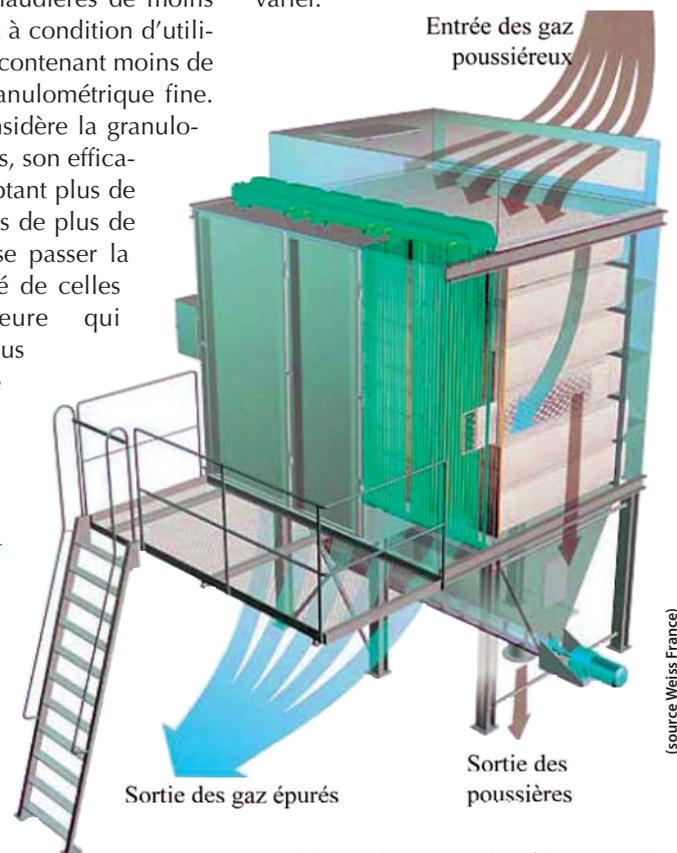


Schéma de principe d'un filtre à manches.

(source Weiss France)

Le filtre à manches permet de façon standard d'abaisser le taux de poussières à 20 mg/Nm³ à 11 % d'oxygène (quelle que soit la granulométrie et la concentration des poussières), voire moins pour des dispositifs plus évolués. Les métaux lourds éventuellement présents dans les particules fines sont donc naturellement captés. Ce dispositif peut également être utilisé comme réacteur dans le cas d'injection de produits spécifiques si un traitement complémentaire des fumées est requis. Enfin, sa consommation électrique propre est très faible (mais il faut tenir compte de la consommation des périphériques associés : compresseur de décolmatage, augmentation de la puissance du ventilateur de tirage) et présente un encombrement réduit. Les manches doivent être changés environ toutes les 25.000 heures (à prendre en compte dans le coût d'exploitation) et, comme elles peuvent être inflammables, il est obligatoire de prévoir un système actif ou passif de blocage des escarbilles issues de la chaudière.

L'électrofiltre

L'électrofiltre intervient lui aussi en complément d'un multicyclone. C'est un mode de dépolluage par séparation électrique qui consiste à faire passer les gaz de combustion entre deux électrodes. Il se présente sous la forme d'une ou plusieurs chambres en tôle comportant des trémies à poussières. L'intérieur est compartimenté au moyen de plaques reliées à la masse régulièrement espacées dans le sens de l'écoulement des gaz, entre lesquelles se trouvent d'autres plaques reliées à une source électrique continue. Le champ électrique qui en résulte exerce sur les poussières chargées électriquement une force qui les précipite sur les plaques réceptrices et les fait tomber dans une trémie d'où elles sont évacuées. Les particules qui adhèrent aux plaques sont décollées par des marteaux venant frapper régulièrement ces dernières.

L'électrofiltre permet d'abaisser de façon standard le taux de poussières à 50 mg/Nm³, certains appareils spécifiques permettant d'atteindre 30 mg/Nm³ à 11 % d'oxygène. Il est insensible aux escarbilles et consomme peu d'électricité (puissance de 10 à 15 kW).

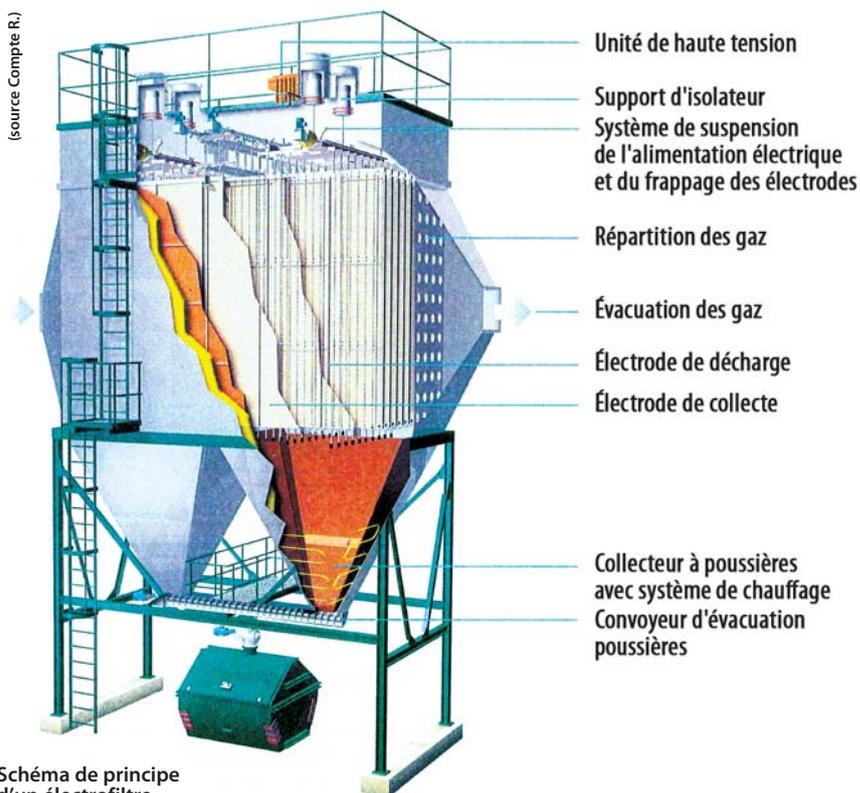


Schéma de principe d'un électrofiltre.

Il présente toutefois un encombrement important et, du fait qu'un groupe de haute tension équipe ce matériel, le personnel d'exploitation doit être habilité. Des travaux de maintenance sont à prévoir à moyen et long termes, comme le changement des isolateurs et des marteaux.

La condensation des fumées, voie d'avenir ?

Aujourd'hui, les installations doivent systématiquement être équipées d'un multicyclone, auquel on ajoute, en fonction des contraintes réglementaires, un filtre à manches ou un électrofiltre. Développée depuis la fin des années 1980 dans plusieurs pays européens (Danemark, Finlande...), la condensation des fumées permet d'augmenter la performance énergétique de l'installation en récupérant une partie de l'énergie contenue dans la vapeur d'eau (10 à 20 points de rendement supplémentaire en général). L'effet filtrant de cette opération permet également de réduire considérablement les émissions de particules : installée en aval du multicyclone, elle pourrait donc avantageusement remplacer un filtre à manches ou un électrofiltre. Il est toutefois nécessaire de refroidir les fumées à moins de 50 °C, ce qui implique de disposer d'une source froide comme le retour d'un réseau de chaleur basse température, ce qui

n'est aujourd'hui pas possible en France car la température du fluide caloporteur du circuit primaire est comprise dans une fourchette aller/retour de 95/70 °C. Seconde contrainte importante : compte tenu de l'acidité des condensats, les échangeurs doivent être prévus pour résister aux attaques corrosives et sont donc fabriqués à partir de matériaux spécifiques, plus coûteux que ceux d'un échangeur classique. Les condensats requièrent généralement une neutralisation par adjonction d'une base avant rejet dans le réseau d'assainissement public et des problèmes de concentration de cadmium peuvent entraîner, selon les normes, la nécessité d'un filtrage. Enfin, le coût de cette solution est élevé, rendant difficile son installation sur des unités de moins de 3-4 MW.

En résumé, l'utilisation en France de systèmes de condensation des fumées en substitution de filtres à manches ou électrofiltres n'est envisageable que simultanément à un développement de réseaux de chaleur basse température (qui permettent en outre une moindre perte de chaleur). L'adaptation de ces dispositifs pour des chaudières de puissance inférieure à 4 MW (envisageable si la réglementation vient à changer) nécessitera de surcroît des recherches pour diminuer les coûts d'investissement.

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

>>> Sophie MOUSSEAU (Inddigo)

Le durcissement de la réglementation sur les émissions gazeuses et particulaires est-il nécessaire et si oui aura-t-il des effets rapidement positifs ?

Devant la préoccupation croissante des maîtres d'ouvrage et du public au sujet des émissions atmosphériques liées au chauffage au bois, et compte tenu de certaines lacunes réglementaires au niveau national pour les chaudières de petite et moyenne puissances, une évolution de la réglementation est attendue. Cette évolution devra permettre de fixer un cadre de surveillance des émissions, nécessaire pour asseoir le bois-énergie dans un climat de confiance et une démarche rigoureuse par rapport aux enjeux sanitaires, sans pénaliser d'un point de vue économique le développement d'une filière qui est aujourd'hui un élément de réponse important dans la lutte contre le changement climatique.

Des réglementations disparates à l'échelle européenne

Parmi les lacunes de la réglementation française concernant les émissions des chaudières biomasse, on peut relever que les installations dont la puissance est inférieure à 2 MW ne sont pas encadrées réglementairement. De même, les prescriptions générales pour les chaudières autorisées à brûler des bois faiblement adjuvantés au titre de la rubrique 2910 B des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) concernent uniquement les installations de puissance supérieure à 20 MW (décrets des 20 juin 2002 et 30 juillet 2003). Pour préciser son dispositif réglementaire, la France tirera profit de l'examen des pratiques de ses voisins européens.

Une étude réalisée par Inddigo pour l'Ademe en 2007 a permis de recueillir les valeurs limites d'émissions (VLE) atmosphériques pour plusieurs polluants dont le monoxyde de carbone (CO), le carbone organique total (COT), les composés organiques volatils (COV), les poussières, les oxydes d'azote (NO_x) et le dioxyde de soufre (SO_2) pour des chaufferies biomasse de puissances de 0,1 à plus de 50 MW dans onze pays européens (Allemagne, Autriche, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Italie, Norvège, Pologne, Royaume-Uni, Suède).

Tous les pays étudiés ont transcrit les directives européennes "2000/76/CE - incinération" et "2001/80/CE - limitation des émissions de certains polluants dans l'atmosphère en provenance des grandes installations de combustion". Par contre, une forte disparité existe quant aux critères pris en compte concernant les chaufferies de puissance inférieure à 50 MW : seuils de puissance, nature du combustible, polluants considérés, VLE pour un même polluant... Dans une logique de développement de la production de chaleur à partir de la biomasse, il serait nécessaire d'homogénéiser les pratiques réglementaires (c'est également le constat réalisé par le Comité économique et social européen en mars 2006).

Pour les chaufferies biomasse dont la puissance est inférieure à 2 MW, les éléments suivants peuvent être retenus :

- CO : la VLE proposée dans le "guide pour la combustion de la biomasse bois" (Ademe, 2003), reprise de l'arrêté du 25 juillet 1997 (250 mg/Nm³ à 11 %

de O₂), correspond aux valeurs observées dans les autres pays, sauf pour les puissances supérieures à 1 MW en Allemagne et au Royaume-Uni (150 mg/Nm³ à 11 % de O₂) ;

- COV : les pays étudiés ne fixent pas de VLE ;

- COT : seules l'Allemagne et l'Autriche proposent des VLE, sur lesquelles pourrait se baser la France (10 mg/Nm³ à 11 % de O₂ en Allemagne pour les puissances comprises entre 1 et 50 MW, et 20 mg/Nm³ à partir d'une puissance de 350 kW) ;

- poussières : l'ensemble des pays fixent des VLE ; on retrouve un seuil de 1 MW au-delà duquel des valeurs plus restrictives sont proposées en Allemagne et en Autriche ; la valeur proposée par l'Ademe dans le guide 2003 correspond aux valeurs de ces deux pays pour des puissances inférieures à 1 MW ;

- NO_x : les pays étudiés ne fixent pas de VLE ;

- SO₂ : seule la Pologne fixe un seuil (400 mg/Nm³).

Pour les installations brûlant du bois faiblement adjuvanté, on retrouve peu de valeurs dans les autres pays européens, si ce n'est d'une part en Italie où les VLE sont très restrictives, au Royaume-Uni pour certains polluants (acide chlorhydrique, acide cyanhydrique, formaldéhyde et composés organiques pour la combustion de panneaux de particules, mélaminés et bois peints dans des chaudières de 0,4 à 3 MW) et en Allemagne (poussières, CO et NO_x). Les valeurs proposées par l'Allemagne et le Royaume-Uni

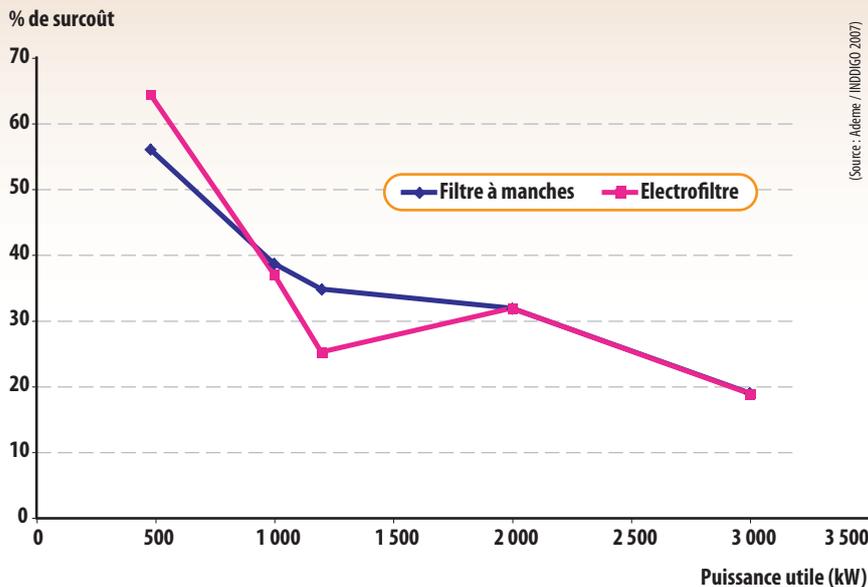
pourraient servir de base à la réflexion sur l'évolution de la réglementation française.

Quels impacts sont à attendre d'un durcissement de la réglementation sur les poussières ?

Parmi les émissions des chaufferies biomasse en France, les poussières constituent aujourd'hui la priorité : abaissement des valeurs limites pour les installations de plus de 2 MW et détermination d'un seuil cohérent pour les installations de puissance inférieure (pour lesquelles il n'existe pas de valeur réglementaire aujourd'hui).

Afin d'évaluer les impacts techniques, environnementaux et financiers de l'installation de dispositifs de dépoussiérage plus performants (filtres à manches, électrofiltres) sur des installations de puissance nominale inférieure à 4 MW (soit 3,2 MW sortie chaudière ; au-delà, ces systèmes sont déjà nécessaires pour répondre aux exigences réglementaires), une enquête a été réalisée par Inddigo pour l'Ademe en 2007 auprès de dix constructeurs de chaudières en France, Autriche, Suisse et Belgique. Les ratios suivants qui en sont extraits sont donnés à titre indicatif (soulignons le peu d'informations exploitables pour les chaudières de puissance inférieure à 500 kW). Pour des chaudières bois de puissance comprise entre 0,5 et 3,2 MW, le gain environnemental d'un meilleur dépoussiérage varie respectivement de 0,43 à 2,60 t/an de poussières évitées avec un filtre à manches et de 0,33 à 2,17 t/an avec un électrofiltre. Le surcoût d'investissement par tonne de poussières évitées est comparable entre les deux systèmes, hormis pour les puissances inférieures à 1 MW où le filtre à manches prendrait l'avantage sur l'électrofiltre. **Ce surcoût représente 20 à 30 % du coût d'investissement global d'une chaudière bois équipée d'un multicyclone (hors génie civil, réseau de chaleur et maîtrise d'œuvre) pour des installation de puissance comprise entre 1,2 et 3,2 MW, mais peut dépasser 60 % pour une chaudière de 0,5 MW.** En augmentant de façon sensible le coût d'investissement (et d'exploitation), la réduction des émissions de poussières en deçà des possibilités d'un multicyclone modifie l'équilibre économique d'une installation bois-énergie.

Surcoût d'investissement du système de dépoussiérage par rapport au coût d'investissement global d'une chaudières bois (hors réseau de chaleur, génie civil et maîtrise d'œuvre)



(Source: Ademe / INDDIGO 2007)

Pour limiter les surcoûts d'investissement tout en garantissant les valeurs limites d'émissions qui pourraient bientôt résulter d'une évolution de la réglementation, il conviendrait d'étudier et de soutenir les possibilités offertes par des systèmes de filtration de taille réduite (électrofiltre spécifique développé par exemple en Allemagne...) mais également par toutes les solutions techniques intégrées en amont du système de filtration et permettant de réduire la quantité de poussières émises (qualité du combustible, amélioration de la combustion, échangeur de chaleur en sortie de chaudière pour l'abaissement de la température des fumées...).

A l'image de l'Allemagne par exemple, il apparaît souhaitable de disposer d'une approche globale de l'ensemble de la filière, et donc de traiter la question de la pollution atmosphérique

dès l'amont, en prenant notamment en compte la nature du combustible biomasse en fonction de laquelle pourraient varier la nature des polluants surveillés, leurs valeurs limites d'émissions, la fréquence de surveillance... Ce qui implique une démarche qualité globale, avec formation des acteurs et traçabilité des produits ligneux.

Dans ces conditions, des prescriptions réglementaires adaptées d'une part à la puissance et au type d'installation, et d'autre part à la nature du combustible devraient permettre un développement harmonieux de l'usage de la biomasse à des fins énergétiques, dans des conditions environnementales satisfaisantes, sans alourdir de façon inconsidérée les montants d'investissement et nuire à la viabilité économique des chaufferies bois.



**Bureau d'études
Thermique/Fluides**

*Energies renouvelables
Maîtrise de l'énergie
Qualité environnementale des bâtiments*

energico@energico.fr

Mulhouse - Colmar - Nancy - Epinal
Besançon - Vesoul - Le Péage de Roussillon

■ Combustion du bois et émissions gazeuses et particulaires en 17 questions-réponses

>>> Violaine BROCHIER et Marina GUERRAZ (Veolia Environnement), Dominique PLUMAIL (Ceden)

Existe-t-il une réglementation pour le recyclage des cendres de bois en France?

Les cendres de bois : de quoi parle-t-on ?

Le bois, composé essentiellement de matière organique, contient également une petite part de matières minérales (0,5 à 3 %) provenant du sol et assimilées par l'arbre durant sa croissance. Lors de la combustion du bois, la quasi-totalité de la matière organique est consommée. Par effet de concentration, les matières minérales constituent l'essentiel du résidu de combustion : les cendres de bois. La valorisation agronomique des cendres permettrait de restituer ces éléments au sol afin qu'ils soient réutilisés par les arbres ou les cultures.

Une installation de combustion de biomasse génère deux types de résidus solides : **les cendres sous foyer et les cendres volantes**.

Les premières tombent dans un cendrier situé sous la chaudière et sont extraites :

- par voie sèche, une vis sans fin ou un convoyeur à chaîne permettant de les acheminer jusqu'à la benne de stockage ;
- par voie humide, les cendres contenues dans le cendrier inondé étant évacuées par un convoyeur à chaînes jusqu'à la benne.

Les cendres volantes, également appelées particules de filtration des fumées, émanent des systèmes de dépoussiérage. Les technologies évoluent selon la taille des chaufferies : multicyclone pour les installations de petite et moyenne puissance, auquel on adjoint, au-delà de 4 MW entrée chaudière, un électrofiltre ou un filtre à manches pour respecter la réglementation en vigueur.

La législation en vigueur pour leur recyclage en agriculture

Au regard de la réglementation actuelle, la valorisation agronomique est réservée aux seules cendres de bois issues d'installations soumises à autorisation préfectorale (plus de 20 MW) et de petites installations (moins de 2 MW), en suivant :

- **une logique déchet**, par la mise en place d'un plan d'épandage (uniquement les installations soumises à autorisation) ; aucun texte français ne réglementant l'épandage des cendres de bois, on se réfère à l'arrêté du 8 janvier 1998 qui régit l'épandage des boues de station d'épuration ;
- **une logique produit**, cependant difficile à mettre en œuvre dans le contexte normatif actuel : la norme sur les engrais (NF U 42-001) spécifie une utilisation possible des cendres de végétaux, mais les teneurs en phosphore (P_2O_5) et en potasse (K_2O) sont trop faibles dans les cendres de bois par rapport à celles imposées par la norme ; en l'absence d'une norme adaptée, le gestionnaire peut recourir à l'homologation (comme amendement basique ou engrais), cependant difficile à mettre en œuvre pour de faible quantité de cendres.

Une véritable valeur agronomique

La composition des cendres de bois est directement liée au combustible entrant en chaudière, et plus précisément à :

- sa nature (feuillu, résineux, bois exotique) ;

- son origine (exploitation forestière, produits connexes, bois en fin de vie...) ;
- son taux d'impuretés (cailloux, terre...), qui est lié au mode de récolte, de transport et de stockage, mais aussi à son origine (clous, agrafes...).

Par ailleurs, l'architecture même de la chaufferie biomasse aura également une incidence sur la composition des cendres (température de combustion, mode d'extraction des cendres sous foyer, système de dépoussiérage...).

On distingue essentiellement trois catégories d'éléments dans les cendres de bois :

- les éléments majeurs et oligoéléments, à l'origine de leur valeur agronomique ;
- les éléments traces métalliques et organiques ;
- les indésirables.

Les cendres sous foyer sont composées majoritairement de silice (Si), mais également de calcium (Ca), de magnésium (Mg), de potassium (K) et de phosphore (P).

Le principal atout des cendres de bois réside dans leur valeur neutralisante liée à leur richesse en oxydes, hydroxydes et carbonates de Ca et Mg (153 kg éq-CaO et 14 kg éq-MgO par tonne de matière brute en moyenne), comparable à celle des amendements basiques traditionnels. Toutefois, le cadre normatif actuel ne permet pas aux cendres de bois d'accéder au statut d'amendement minéro-basique puisqu'elles ne figurent pas dans la liste des matières premières acceptées par la norme NF U 44-001.

Bien qu'elles ne contiennent pratiquement pas d'azote (N), les cendres de

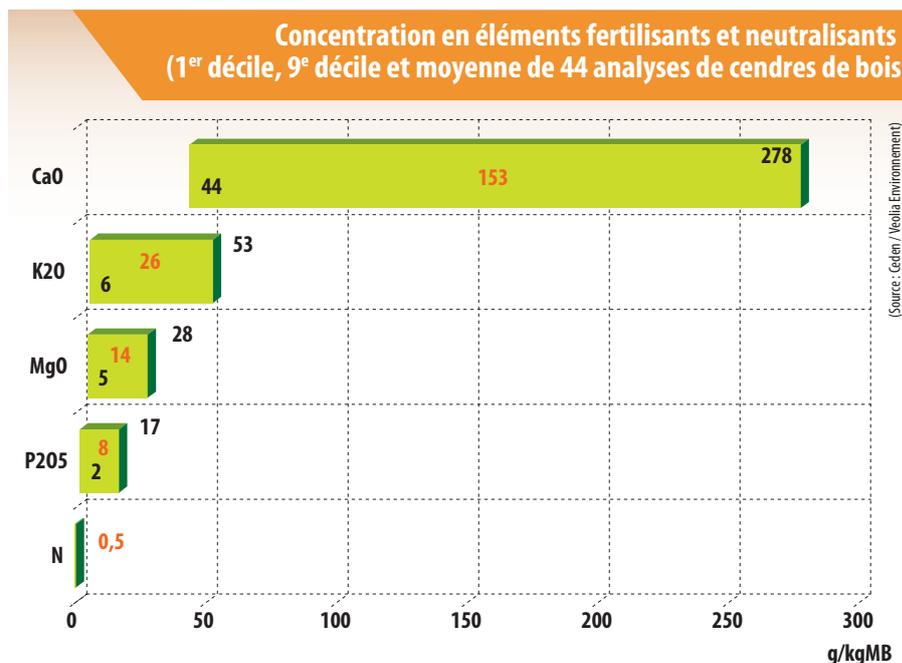
bois présentent également une valeur fertilisante intéressante, notamment en raison de leur richesse en potasse (26 kg K₂O par tonne de matière brute en moyenne), les fluctuations étant principalement liées à l'essence du bois. Cependant, les concentrations sont insuffisantes pour répondre aux exigences de la norme NF U 42-001 (engrais), les teneurs en phosphore et potasse devant respectivement excéder 5 et 2 % de la matière brute. Les cendres contiennent aussi des oligoéléments (fer, bore, cuivre, manganèse).

Les éléments traces métalliques (ETM), présents initialement dans le bois, sont retrouvés dans les cendres par effet de concentration. Ces teneurs sont directement liées à la qualité du combustible entrant dans la chaudière. Les ETM et les CTO (composés traces organiques) étant potentiellement toxiques, le retour au sol des cendres de bois fait référence, par défaut, à l'arrêté du 8 janvier 1998. Cette démarche permet de contrôler les quantités et la qualité des cendres épandues et vise à préserver les sols en fixant des teneurs et des flux limites.

Les impuretés (clous, agrafes, cailloux, sables...) leur confèrent également des caractéristiques, parfois incompatibles avec l'épandage.

Comment sont gérées les cendres ?

Compte tenu des potentialités agronomiques des cendres de bois et du coût du stockage en décharge, une démarche de valorisation est souvent privilégiée. Cependant, elles doivent présenter des caractéristiques compa-



tibles avec le retour au sol ; dans le cas contraire, l'enfouissement est incontournable. Au plan technique, deux filières de valorisation agronomique peuvent être envisagées :

- soit par un retour au sol en l'état et la mise en place d'un plan d'épandage ;
- soit en mélange à des fumiers ou des composts : cependant, le contexte réglementaire actuel ne favorise pas cette seconde voie.

Dans tous les cas, le calcul des doses à apporter doit être raisonné sur la base d'un bilan de fertilisation prenant en compte les besoins du sol (pH, teneurs en éléments minéraux), de la plante, et les caractéristiques des cendres dans le but de respecter les flux réglementaires.

D'un point de vue pratique, les cendres de bois peuvent être pulvérisées, et donc difficiles à manipuler. De ce fait, il est nécessaire de choisir un matériel adapté : un épandeur à chaux vive (épandage direct) ou un épandeur à hérissons verticaux ou horizontaux (en mélange).

Conclusion

La composition des cendres de bois démontre l'intérêt de leur valorisation agronomique. Cependant, la réglementation actuelle est peu accessible : complexe, elle mériterait d'être clarifiée pour privilégier le retour au sol des cendres.

Les Cahiers du bois-énergie, co-édités par Biomasse Normandie et le Comité interprofessionnel du bois énergie (CIBE), sont publiés avec le soutien de l'Ademe (Direction des énergies renouvelables, des réseaux et des marchés énergétiques - Département bioressources) et du Bois International, sous la responsabilité éditoriale de Biomasse Normandie.

Ce cahier a été préparé par Stéphane COUSIN et Mathieu FLEURY (Biomasse Normandie), Serge DEFAYE et Jean-Pierre TACHET (CIBE). Nous remercions pour leur contribution les administrateurs et adhérents du CIBE (Christophe HUON - Energico, Dominique JACQUES - Rhônalpennergie Environnement, Alain WEBER - Ageden, Céline ROMAN - Dalkia, Patrick OLLIVIER - RBM, Christophe PASCUAL - Elyo Cylergie, Grégory RAT - Weiss France, Michel COMPTE - Compte R., Sophie MOUSSEAU - Inddigo, Violaine BROCHIER et Marina GUERRAZ - Veolia Environnement, Dominique PLUMAIL - Ceden), l'Ademe (Erwan AUTRET) et les représentants de centres techniques et organismes de recherche (Ghislain GOSSE - Inra, Nadine ALLEMAND et Etienne MATHIAS - Citepa, Serge COLLET - Ineris). Mise en page par la Rédaction du Bois International.



[Retrouvez Les cahiers du bois-énergie en ligne au format PDF !](http://www.leboisinternational.com)

www.leboisinternational.com

ZI route de Niort 79160
COULONGES SUR L'AUTIZE
info@energie79.fr
www.energie79.fr

Tél. : 05 49 06 06 60
Fax : 05 49 06 00 60

40 ans d'expérience du bois énergie

Locaux professionnels
Générateurs d'air chaud à déchets de bois

Industrie et Collectivités
Chaudières de 220 à 1250 kW

Chauffage domestique
Chaudières à bûches, à plaquettes,
cuisinières et poêles à granulés

ENERGIE 79
constructeur/distributeur chauffage



Chaudière DHF10 de 4 MW 6,3 t/h vapeur à 10 bar en Honduras

**Préoccupé par le coût du gaz et du gasoil ?
Les systèmes automatiques de combustion
de biomasse de L. Solé sont la solution.**

Depuis plus de 25 ans L. Solé étudie, fabrique et installe des systèmes de combustion de biomasse à haute efficacité et disponibilité pour un large éventail d'applications.

De 200 kW jusqu'à 15 MW, process pour toutes industries (bois, alimentaire, etc...) et chauffage collectif (collectivités), Quels que soient vos besoins.

N'hésitez pas de nous contacter et nous étudierons votre cas.

L. Solé, S.A.
Pol. Ind. Massanes
c. Pollancre, parc. 23
17452 Massanes
Tél. +34.972874707
Fax +34.972874860
Email : info@isole.com
www.isole.com

Représentant exclusif pour la France : MONNIER
78 Quai des Chartrons
33300 BORDEAUX
Tél : +33.(0)5.56.51.06.64
Fax : +33.(0)5.56.51.06.79
Port : +33.(0)6.64.25.24.67
(Monsieur Paul MONNIER)
e-mail : philippe.monnier@9business.fr
paulmonnier@isole.com

Bénéficiez des solutions de la marque référence des professionnels

Valorisez
vos produits d'élagage
et sous-produits forestiers
en les transformant en
plaquettes calibrées pour
chaufferies automatiques.

La solution complète
du Direct-Constructeur
pour la filière
bois/énergie.



DÉCHIQUETTES À TAMBOUR HACHEUR POUR PRODUCTION DE PLAQUETTES CALIBRÉES



NOREMAT

Agence Ouest Tél. : 02 99 37 65 07 | Agence Sud-Ouest Tél. : 05 56 31 53 54 | Agence Sud Tél. : 04 66 02 19 30 | Agence Centre Tél. : 03 86 94 07 93 | Agence Sud-Est Tél. : 04 74 68 79 25 | Agence Est Tél. : 03 83 25 77 78

www.noremat.fr

Nideck Chauffage®

Energie dans le Cycle de la Nature

Distributeur exclusif en France des chaudières et déchiqueteuses Heizomat

Déchiqueteuses manuelles
de 300 à 400 mm de hauteur
Machines grues de 400 à 800 mm de hauteur
Débit jusqu'à 100 m³/h
Couteaux interchangeables à faible coût



Chaudière à bois déchiqueté
Gamme de 30 à 3 000 kW
25.000 chaudières en fonctionnement

Nideck Chauffage 6, impasse de l'Escalier • 67710 WANGENBOURG • Tél. : 03.88.87.33.73 • Mail : nideck.chauffage@wanadoo.fr

Binderberger : LA GAMME COMPLÈTE www.aci-bernard.com

Remorque de débardage



Fendeuse horizontale
et verticale



RITTER MASCHINENFABRIK Professionnels exigeants



Combiné scieur - fendeur



Nouveau modèle

Scie circulaire + scie avec tapis



Treuil 3 points double tambour
- Blindage forestier
- Postes inversés
- Equipement de tracteur agricole



kmb
Le bon compromis :
Treuil 3 points
simple tambour

ACi

DISTRIBUTEUR EXCLUSIF

MATÉRIELS & ÉQUIPEMENTS FORESTIERS

47, rue Saint-Michel - B.P. 30036 MONSWILLER - 67701 SAVERNE CEDEX

Tél. : 03.88.01.22.05 - Port. : 06.83.85.93.50 • aci-bernard@wanadoo.fr

Prébroyage

Broyage

Conditionnement

Granulation

Refroidissement

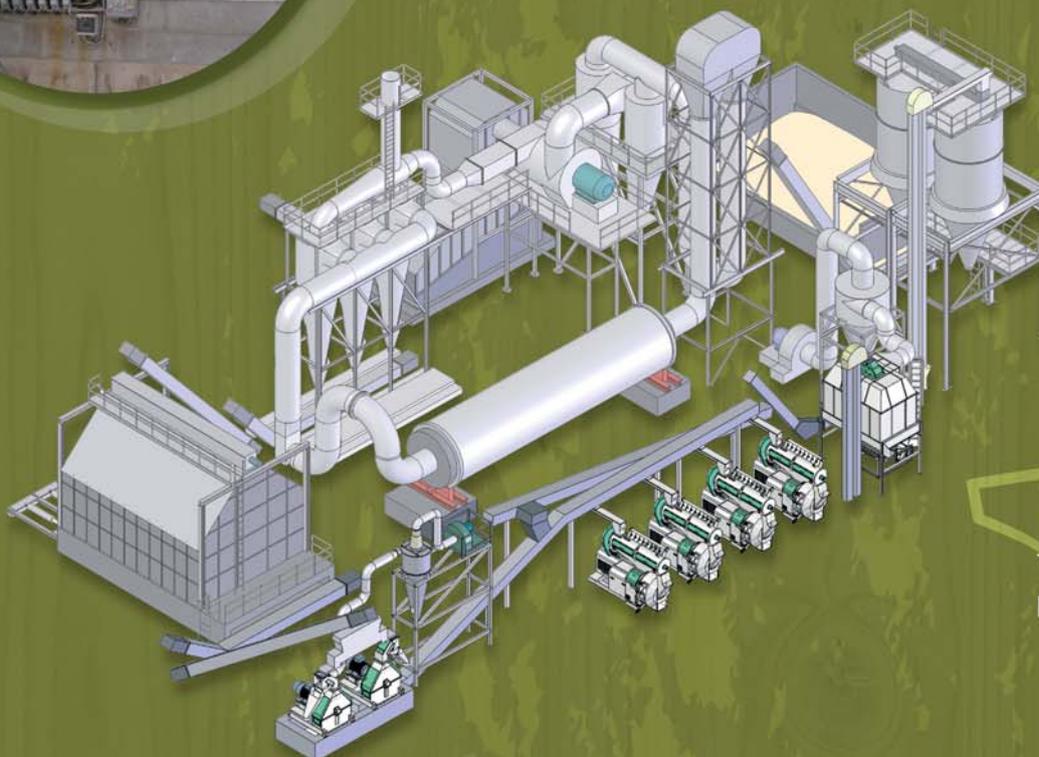
Tamisage



Le leader Français des solutions complètes pour la
granulation des bioénergies

De l'expérience
à la qualité standard

- Plus de 30 ans d'expérience dans la fabrication de presses et broyeurs dédiés aux granulés de bois.
- 500 000 tonnes de granulés de bois sont produites chaque année sur nos presses à granuler.



Route Nationale 12
28410 SERVILLE - FRANCE
Tél. +33 (0)2 37 38 91 93
Fax +33 (0)2 37 43 21 84

www.promill-stolz.fr
promill@promill-stolz.fr