

## Ah, un bon feu de bois dans la cheminée !

Pauvres Parisiens et Franciliens... Ont-ils définitivement échappé à la condamnation de leurs cheminées en 2015 et pourront-ils encore contempler, allongés sur une peau de bête, les flammes dansantes de leur foyer ouvert ? Remplaceront-ils grilles et chenets par une rampe imitation bois avec des LED clignotant (quelle horreur !) ? Le bois-énergie est-il donc si mal vu dans la capitale, alors que prôné par les écologistes ? Un peu de chimie pour nous éclairer.

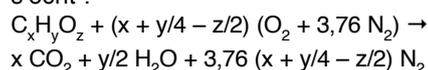
### Le bois

Le bois fait partie de la biomasse renouvelable et représente au plan mondial 7 % de la contribution à l'énergie. En France, le gisement est de l'ordre de 71 Mm<sup>3</sup>, dont 46 Mm<sup>3</sup> sont exploitables comme combustible. Du point de vue chimique, il est composé de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'un peu d'azote. On y trouve 50 % de cellulose, 15 à 20 % d'hémicellulose et 20 à 30 % de lignine. S'y ajoutent moins de 1 % d'éléments minéraux, 0,02 % de soufre, 0,002 % de chlore et les métaux (Cu, Zn, Mn) y sont de l'ordre de 100 ppm. La formule moyenne est : 49,5 C, 6,1 H, 44 O et 0,2 N. Le bois contient de l'eau, libre dans le bois vert (60 %), liée dans le bois séché un à deux ans à l'air (10 à 20 %), le taux moyen du bois sec étant de l'ordre de 15 %. Comme sa vaporisation est endothermique, elle a une valeur calorifique négative et retarde ou dégrade la combustion.

### La combustion du bois

On distingue trois phases :

- 1) l'allumage, avec la vaporisation de l'eau entre 100 et 150 °C ;
- 2) la pyrolyse, entre 200 et 600 °C : CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O s'échappent ainsi que les gaz combustibles ; CO, H<sub>2</sub> et les hydrocarbures brûlent avec une belle flamme jaune ; mais s'échappent aussi les COVNM (composés organiques volatils non méthaniques) et les gaz condensables qui vont donner le jus pyroligneux. Cette combustion porte la température à 800 °C pour la phase 3 ;
- 3) le résidu charbonneux rougeoit intensément et s'oxyde en dégageant CO et CO<sub>2</sub>. À la fin, il reste les cendres (1 %), composées d'oxydes métalliques et de minéraux. La réaction complète idéale en présence d'air s'écrit :



© Rodrusoleg - Fotolia.com

On définit un pouvoir comburivore, qui est le volume d'air théorique nécessaire à la combustion ( $V_a = 4,57 \text{ m}^3/\text{kg}$  de bois), et un pouvoir fumigène,  $V_f$ , qui correspond au volume de fumée sèche ou humide (dans les faits humide). Comme on opère toujours avec un excès d'air (25 à 100 %), la fourchette est :  $6,5 \text{ m}^3 < V_f < 9,5 \text{ m}^3/\text{kg}$ . La composition théorique des fumées est : CO<sub>2</sub>, 9,6 % ; H<sub>2</sub>O vapeur, 6 % ; O<sub>2</sub>, 9,9 % et N<sub>2</sub>, 74,5 %. Comme il y a de l'azote intrinsèque dans la composition du bois et que l'azote s'oxyde à haute température, on décèle toujours N<sub>2</sub>O ou NOx.

### Pouvoir calorifique et efficacité énergétique

Vous avez évidemment la sensation de bien-être en vous réchauffant devant un bon feu de bois ; cette sensation est précisée en laboratoire par la mesure du pouvoir calorifique PCS, ou ici PCI (sans la chaleur latente de la condensation de la vapeur d'eau). Le PCI du bois sec est de l'ordre de 5,2 kWh/kg. L'humidité fait baisser le pouvoir calorifique de 20 % en moyenne. Le *tableau I-a* donne quelques comparaisons. On y voit que le bois a un pouvoir calorifique massique plus faible que les combustibles fossiles, mais c'est une ressource renouvelable. Encore faut-il que les installations permettent un rendement correct : une première phase rapide et un bon brassage entre les gaz émis et l'oxygène pour brûler sans trop de contact avec les parois froides ; de plus, les fumées chaudes doivent

avoir un chemin suffisamment long pour abandonner leurs calories à des échangeurs et à la pièce à chauffer. Il y a évidemment de fortes différences d'efficacité énergétique entre une cheminée ouverte, un poêle à bûches et une chaudière à granulés (*tableau I-b*). D'où l'intérêt d'exploiter au mieux la biomasse et pour les industriels et le chauffage collectif, l'intérêt à se tourner vers les chaudières performantes à plaquettes ou à granulés. Car l'intérêt n'est pas seulement d'utiliser une ressource renouvelable, il est aussi financier. Avec un prix moyen de la stère de bois de chauffage à 70 € qui permet d'obtenir par combustion environ  $4\,000 \times 0,8 = 3\,200 \text{ kWh}$  théorique, le kWh revient à 2 cc € au lieu de 12 à 14 cc € pour le kWh électrique. À moduler cependant : pour le foyer ouvert, le rendement à 10 % met le prix du kWh à 20 cc €, mais pour un insert moderne à foyer fermé, le rendement de 50 % ramène ce prix à 4 cc €, ce qui reste très intéressant.

### Pollution de l'atmosphère

La combustion complète idéale ne dégage que CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + O<sub>2</sub> + N<sub>2</sub> ; elle délivre donc les bonnes molécules nécessaires et réemployées à la production des plantes et de la biomasse par photosynthèse.

Des études ont été faites sur les émissions de gaz à effet de serre en prenant en compte l'analyse du cycle de vie du bois et les émissions dues au bûcheronnage, au débardage et au transport. En quantité de CO<sub>2</sub>, on arrive à 80 kg

a		b	
Combustible	PCI en kWh/kg	Installation de chauffage au bois	Rendement en %
Bois brut en bûches	4	Cheminée foyer ouvert	10 à 20
Charbon (coke)	8	Insert foyer fermé	30 à 70
Fioul domestique	12	Poêle à bûches	40 à 70
Gaz naturel	17	Chaudière à bûches	55 à 75
		Chaudière à granulés	75 à 90

Tableau I.

	% énergie nationale	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	COVNM	HAP	Dioxine	PM 2,5*	PM 10*
Bois énergie	5,6	1,6	3,6	36	21	70	20	40	60
Fioul	4	10	12	1,2	2,7	5	2	7	12
Charbon	3,4	37	4	3		1	3	2,3	2,2
Gaz naturel	21	1,4	8	1,1	1,3	0		0,4	0,8
Transport routier	26	0,3	53	13	10	17		17	16,5

Tableau II - Pourcentage des polluants dégagés par diverses sources en regard de leur importance nationale.

\*PM 2,5 : particules fines (« particulate matter ») dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm ; PM 10 : particules moyennes.

CO<sub>2</sub>/MWh utiles pour le foyer ouvert, 40 kg CO<sub>2</sub>/MWh pour le poêle à bûches, ce qui est très inférieur aux autres combustibles – 220 kg CO<sub>2</sub> pour le gaz et 460 kg CO<sub>2</sub> pour le fioul, qui montre l'incontestable avantage du bois-énergie, même en utilisation domestique.

La combustion incomplète, et c'est souvent le cas dans les foyers domestiques avec du bois plus ou moins sec, dégage du CO imbrûlé, CH<sub>4</sub>, des COVNM, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), N<sub>2</sub>O et des particules fines et ultrafines composées de suies, de HAP et de composés organiques. Parmi ces derniers, le lévoglucosan, issu de la décomposition de la cellulose et de l'hémicellulose, et des métoxyphénols issus de la pyrolyse de la lignine.

Les résultats des études 2009 de l'ADEME et 2008 de l'INERIS sur la contribution nationale en pourcentage des polluants par le bois-énergie dans l'atmosphère, comparées à d'autres sources, sont donnés dans le tableau II.

On observe donc une forte disproportion entre l'importance plutôt secondaire en France métropolitaine du combustible bois dans le secteur de l'énergie (moins de 6 %) et ses fortes contributions aux émissions de polluants CO, COVNM, HAP, mais surtout de particules fines et ultrafines où l'on dépasse largement celles du transport routier, et c'est surtout le fait du chauffage domestique résidentiel qui fournit 70 % de cette pollution [1].

Ce tableau montre bien les choix cornéliens à faire lors de la « transition énergétique » pour les divers sources et systèmes de chauffage. Le gain en termes de gaz à effet de serre et ressources renouvelables est tout à fait favorable au bois. Hélas pour le particulier, la combustion incomplète contribue à la pollution de l'air. C'est pourquoi, depuis 2011, les inserts et chaudières à bois reçoivent un label vert délivré par l'ADEME qui garantit un fonctionnement efficace et plus propre. Chers collègues parisiens qui avez risqué ou qui risquent encore des règlements fluctuants [2], allez-vous boucher les cheminées (tant pis pour le Père Noël) et sacrifier aussi votre

bonne vieille diesel sur l'autel de la chasse aux particules ?

Nous sommes ici au cœur de l'hystérie contradictoire franco-européenne de la transition énergétique. J'aimerais sauver la planète en limitant les gaz à effet de serre, en me chauffant avec un combustible écologique (le bois), mais on me donne mauvaise conscience, car je disperse des polluants particuliers. Que choisir entre Ségolène et Anne, entre ma cheminée cocooning aux bûches rougeoyantes et la dégradation des chiffres d'Airparif ? Ah, le chemin vers la transition énergétique n'est pas, ni pour nous, ni pour nos gouvernants, un long fleuve tranquille !



Jean-Claude Bernier,  
Décembre 2014

[1] CITEPA, format SECTEN, Ministère de l'Écologie, avril 2014.

[2] Arrêté interpréfectoral, Plan de protection de l'atmosphère, Paris, mars 2013.

Retrouvez-nous en ligne !

**l'actualité chimique**  
LE JOURNAL DE LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE FRANCE

**lactualitechimique.org**

Archives, actus, photothèque...