



Combustion du bois et qualité de l'air

Octobre 2007



SOMMAIRE

CONTEXTE	3
<u>PARTIE I. LES EMISSIONS LIEES A LA COMBUSTION DE BOIS.....</u>	4
I. GENERALITES SUR LA COMBUSTION DU BOIS.....	4
II. COMBUSTION DU BOIS POUR LE CHAUFFAGE DES BATIMENTS	4
II.1. CHAUFFAGE INDIVIDUEL	4
II.2. CHAUFFAGE COLLECTIF	5
II.3. DIFFERENTS TYPES DE COMBUSTIBLE.....	5
III. POINT SUR LA REGLEMENTATION	5
III.1. CHAUFFAGE INDIVIDUEL.....	5
III.2. CHAUFFAGE COLLECTIF	6
IV. CONNAISSANCES DES EMISSIONS DE POLLUANTS	8
IV.1. METHODES D'INVENTAIRE D'EMISSIONS	8
IV.2. FACTEURS D'EMISSION	8
IV.2.a. Le chauffage individuel.....	8
IV.2.b. Le chauffage collectif	9
IV.3. LES EMISSIONS EN RHONE-ALPES	12
V. LES PARAMETRES INFLUENÇANT LES EMISSIONS	16
V.1. CHAUFFAGE INDIVIDUEL	16
V.2. CHAUFFAGE COLLECTIF.....	17
<u>PARTIE II. QUALITE DE L'AIR ET CHAUFFAGE AU BOIS</u>	18
VI. AU NIVEAU NATIONAL	18
VI.1. LES ETUDES.....	18
VI.2. LES NIVEAUX DE POLLUANTS EN MILIEU URBAIN	19
VII. AU NIVEAU INTERNATIONAL	21
VII.1. AU CANADA.....	21
VII.2. EN SUISSE.....	21
VII.3. EN ALLEMAGNE.....	21
<u>CONCLUSION</u>	22

CONTEXTE

En France et plus particulièrement en Rhône-Alpes, la mise en place de deux plans bois-énergie successifs en 1994-1999 et 2000-2006 a provoqué un développement rapide du bois-énergie, notamment dans le domaine du petit collectif alors qu'historiquement le chauffage au bois était plutôt associé au chauffage individuel.

A titre d'illustration, selon les chiffres publiés par l'ADEME¹, le nombre de chaufferies collectives en Rhône-Alpes est passé de 41 installations en 2000 à 285 en 2004.

Contrairement aux énergies fossiles, le bois a l'incontestable avantage d'être neutre pour les émissions de gaz à effet de serre. En effet, le CO₂ émis par la combustion du bois est réabsorbé par la végétation lors de la photosynthèse. Toutefois, la combustion s'accompagne également d'émissions d'autres polluants.

Cette problématique des émissions polluantes de la combustion de bois existe également dans les cas des feux de forêt, des feux domestiques et de l'écobuage. Ces points ne seront pas abordés dans ce document, notamment du fait de leur caractère non maîtrisé. En revanche, face à l'accroissement rapide de l'utilisation du bois-énergie, il convient de s'assurer que les émissions polluantes sont maîtrisées afin de s'inscrire dans un développement durable de cette énergie.

Les paragraphes suivants présentent succinctement les connaissances et les interrogations actuelles sur l'impact du chauffage au bois sur la qualité de l'air. La qualité de l'air dépend non seulement des émissions de polluants mais également des caractéristiques du rejet et des paramètres météorologiques qui conditionnent la dispersion dans l'atmosphère. Le document s'organise donc autour de deux parties : les émissions du chauffage au bois et les niveaux de polluants dans l'air ambiant.

A noter que les données bibliographiques disponibles sont très largement relatives à la première partie « émissions ». Peu de données concernant les niveaux de polluants dans l'atmosphère attribuables au chauffage au bois sont disponibles.

¹ Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

PARTIE I. LES EMISSIONS LIEES A LA COMBUSTION DE BOIS

I. Généralités sur la combustion du bois

Les arbres se scindent en deux grandes familles : les feuillus et les résineux. Ces familles présentent des différences de structure mais quelle que soit l'essence, la composition élémentaire moyenne du bois est la suivante :

	C	H	O	N	Eléments minéraux*
en %	49,8	6,2	43,1	0,2	0,7
	* Ca, K, Mg				

Pour faire les calculs de combustion, la composition suivante est retenue : 50% de carbone (C), 6% d'hydrogène (H) et 44% d'oxygène (O). En théorie, les produits de la combustion complète du bois sont donc uniquement du dioxyde de carbone (CO₂) et de l'eau (H₂O).

Toutefois, lors d'une combustion complète, d'autres composés comme les oxydes d'azote (NO_x) et les particules, formées principalement à partir des minéraux, se retrouvent dans les fumées [Rabot-Querci, 2006].

Lorsque la combustion est incomplète (cas « réel »), d'autres produits sont retrouvés dans les fumées comme :

- le monoxyde de carbone (CO),
- les imbrûlés solides (suies, goudrons, charbon,..),
- les Composés Organiques Volatils (COV),
- les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP),
- les dioxines et furannes.

Ces produits sont minoritaires et, même dans le cas d'une combustion incomplète, les fumées sont composées à 99% en volume de H₂O, CO₂, N₂ et O₂.

Les particules constituent une famille de polluants un peu particulière. En effet, plus que par leur composition, c'est par la taille que sont différenciées les particules. Ainsi, classiquement, trois classes sont distinguées :

- les particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm,
- les particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm,
- les particules de diamètre aérodynamique inférieur à 1 µm.

La combustion de bois est principalement émettrice de particules très fines (<1µm). La proportion de particules fines varie en fonction de l'appareil de combustion, du combustible et des conditions de combustion, toutefois cette catégorie reste toujours majoritaire en masse et en nombre [Rabot-Querci, 2006].

II. Combustion du bois pour le chauffage des bâtiments

L'énergie dégagée par le phénomène de combustion du bois peut être récupérée à des fins de chauffage des bâtiments. Les différents équipements de chauffage et types de combustibles existants sont rappelés ci-dessous.

II.1. **Chauffage individuel**

Les appareils indépendants pour le chauffage individuel au bois sont les poêles, les cuisinières, les foyers ouverts ou fermés et les chaudières. Selon le type d'appareil et la localisation géographique, le chauffage au bois est plutôt utilisé en appoint ou en base.

La chaudière à bois est toujours utilisée en base seule ou associée². Les cuisinières sont utilisées à un peu plus de 40% en base seule et jusqu'à près de 80 % si la proportion d'utilisation en base associée est également considérée. Les autres types d'appareils sont utilisés de manière plus occasionnelle. Ces données sont représentatives de l'année 2001 [ADEME, 2005a]. En termes de parc, en 2001, plus de 2 millions de foyers fermés et inserts étaient recensés contre 350 000 chaudières.

II.2. Chauffage collectif

Le chauffage est collectif lorsqu'il alimente plusieurs logements, cela peut être :

- une chaufferie d'immeuble
- un réseau de chaleur qui dessert plusieurs bâtiments.

Le chauffage collectif au bois est effectué par des chaudières de puissance très variable. En effet, il peut s'agir de chaudière d'une centaine de kilowatts environ jusqu'à des installations de plusieurs mégawatts. Actuellement en France, la plus grosse chaufferie bois, constituée de 3 chaudières automatiques d'une puissance totale de 15,6 MW, se trouve à Vitry-le-François dans la Marne.

En Rhône-Alpes, 66% des investissements concernent des chaufferies **de puissance inférieures à 100 kW** (13% de la consommation prévisionnelle de bois) en 2004 [Brochure ADEME].

II.3. Différents types de combustible

Les différents combustibles « bois » peuvent se diviser en deux grandes catégories :

- les **bûches**, qui impliquent une alimentation manuelle.
- les combustibles qui permettent une alimentation automatique : **les plaquettes forestières et broyats**, les **sciures/copeaux**, les **granulés**.

Le type de combustible peut avoir une influence sur les émissions polluantes. Par exemple, la taille des particules du bois fragmenté a une influence sur la combustion. Des particules trop fines vont s'envoler dans les flux d'air et de fumées sans avoir eu le temps de brûler complètement.

III. Point sur la réglementation

III.1. Chauffage individuel

Il n'existe pas à proprement dit de réglementation sur les émissions de polluants des appareils indépendants. Il existe des normes européennes et françaises concernant les règles de sécurité, d'utilisation et les méthodes d'essai pour les différents types d'appareils indépendants. Par ailleurs, différents constructeurs ont signé les chartes « Flamme Verte », soutenues par l'ADEME, pour les appareils indépendants et les chaudières.

Pour les appareils indépendants (poêles, foyers fermés et inserts), les performances des installations spécifiées dans la charte « Flamme Verte » portent sur le rendement (> 65%) et sur les émissions de CO (<= 0,8% du volume des fumées). Les appareils indépendants labellisés respectent la norme NFD 35-376 et/ou les normes européennes EN 13 229, 13 240 et 12 815 (pour les appareils mis sur le marché depuis 2003).

Pour les chaudières (jusqu'à 70kW), les émissions de Composés Organiques Volatils (COV) et de particules sont également soumises à des seuils maximaux pour respecter la

² Le chauffage au bois ne couvre pas la totalité des besoins de chauffage.

charte « Flamme Verte », respectivement 115 à 225 mg/Nm³ à 10% d'O₂ selon le type de chargement (manuel ou automatique) et 165 mg/Nm³ à 10% d'O₂. Les chaudières « Flamme Verte » suivent la norme européenne EN 303.5.

Les objectifs prévisionnels définis dans les chartes sont plus contraignants au fil des années.

Dans d'autres pays européens, la réglementation est plus contraignante. En Belgique par exemple depuis le 1^{er} janvier 2007, le marquage CE est obligatoire pour la mise sur le marché d'un appareil de chauffage biomasse régi par une de ces normes : EN 13240, EN 13329, EN 12809.

III.2. Chauffage collectif

Chaudières de puissance inférieure à 300 kW

Pour les chaudières de puissance inférieure à 300 kW, la *norme EN 303.5* définit des classes de 1 à 3 en fonction des émissions de CO, particules et composés organiques. Cette norme sert à classer les appareils selon leurs émissions mais n'impose pas de valeurs limites.

NB : Les chaudières Flamme verte (puissance <70kW) se situent entre les classes 2 et 3.

Chaudières de puissance supérieure à 400 kW

Décret n° 98_817 du 11 septembre 1998 relatif au rendement et à l'équipement des chaudières. Ces chaudières sont soumises à une obligation de rendement minimum.

Chaudières de puissance comprise entre 2 et 20 MW

Les chaudières de plus de 2 MW sont soumises à la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), indépendamment de l'énergie utilisée. *L'arrêté du 25 juillet 1997 modifié relatif aux petites installations de combustion* concerne les installations de puissance comprise entre 2 et 20 MW. Les valeurs limites d'émission concernent le SO₂, les NO_x et les particules.

Par ailleurs, la *circulaire du 10 avril 2001* impose une valeur limite de 0,1 ng/m³ pour les HAP et des mesures pour les métaux sans toutefois imposer de valeur limite.

Chaudières de puissance supérieure à 20 MW

L'arrêté du 30 juillet 2003 relatif aux chaudières présentes dans une installation existante de puissance supérieure à 20 MWth et l'arrêté du 20 juin 2002 relatif aux chaudières présentes dans une installation nouvelle ou modifiée de puissance supérieure à 20 MWth fournissent des valeurs limites d'émission pour SO₂, NO_x, particules, CO, COV, HAP et métaux. En France, il n'y a pas à l'heure actuelle de chaufferie bois de puissance supérieure à 20 MW.

Le tableau 1 résume les différentes valeurs limites d'émission pour les chaudières d'une puissance supérieure à 2 MW et fonctionnant à la biomasse.

Polluants		Chaudières	Chaudières	Chaudières	Chaudières
		<4 MW	4 MW<P<10MW	10MW <P<20MW	>20MW
		Valeurs limites d'émission en mg/Nm ³ à 11% d'O ₂			
SO ₂		200	200	200	200
NOx	Nouvelle	500	500	500	400
	Existante	750, 500 ^b	750, 500 ^b	750, 500 ^b	
Particules	Nouvelle	150, 100 ^b	100	100 (50) ^a	50
	Existante	150	100	100 (50) ^a	
CO	Nouvelle	250, 200 ^b	250, 200 ^b	250, 200 ^b	200
	Existante	-, 200 ^b	-, 200 ^b	-, 200 ^b	
HAP ^c		0,1 ^b	0,1 ^b	0,1 ^b	0,1
COVNM	Nouvelle	50	50	50	110
	Existante	-	-	-	
Métaux lourds		-	-	-	En fonction du composé

^a Valeur limite en milieu urbain (agglomération de + 250 000 habitants)

^b circulaire 2001

^c 8 HAP au sens de la norme NF X 43-329

Tableau 1. Valeurs limites d'émission pour les chaudières biomasse > 2MW

Les valeurs limites d'émission (VLE) ne s'appliquent pas aux périodes de démarrage et de mise à l'arrêt des installations. Il est spécifié dans les arrêtés que ces périodes doivent être aussi limitées dans le temps que possible.

Comparaison avec les autres combustibles

Les arrêtés cités ci-dessus s'appliquent également aux autres combustibles. Toutefois, certaines limites d'émissions fixées varient en fonction du combustible (par exemple pour les particules, 50 mg/Nm³ pour la biomasse vs 5 mg/Nm³ pour le gaz pour les chaudières de puissance supérieure à 20 MW).

Le tableau 2 reprend les valeurs limites d'émission citées dans l'arrêté du 25 juillet 1997 modifié pour les installations nouvelles (puissance comprise entre 2 et 20 MW).

Combustibles	Oxydes de soufre	Oxydes d'azote		Particules		
		P<10MW	P>=10MW	P<4MW	4<=P<10MW	P>=10MW
Gaz naturel	35	150 (b)	100	5	5	5
Gaz de pétrole liquéfiés	5	200 (b)	150	5	5	5
Fioul domestique	170 (a)	200 (b)	150	50	50	50
Autres combustibles liquides	1 700	550 (b)	500	150	100	100 (d)
Combustibles solides	2 000	550 (c)	550	150	100	100 (d)
Biomasse	200	500	500	150	100	100 (d)

(a) Valeur fixée à 350 mg/m³ jusqu'au 1er janvier 2008.

(b) Cette limite s'applique aux installations dont la puissance totale est supérieure à 10 MW lorsque plus de 50 % de la puissance totale de l'installation est fournie par des générateurs à tube de fumées.

(c) La limite est fixée à 800 mg/m³ pour les installations, possédant des chaudières automatiques monoblocs ou à tubes de fumée, dont la puissance totale est inférieure à 10 MW.

(d) Pour les installations situées en agglomération de plus de 250 000 habitants, la valeur est fixée à 50 mg/m³.

Tableau 2. VLE des installations nouvelles (exprimées en mg/Nm³ sur gaz sec, la teneur en oxygène étant ramenée à 6 % en volume dans le cas des combustibles solides, 3 % dans le cas des combustibles liquides ou gazeux et 11 % en volume pour la biomasse)

IV. Connaissances des émissions de polluants

IV.1. Méthodes d'inventaire d'émissions

Le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes sur la Pollution Atmosphérique) est chargé par le Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, de réaliser les inventaires d'émissions au niveau national. Ces inventaires fournissent à l'instant t une photographie des émissions globales de chaque polluant. Ils peuvent permettre :

- d'identifier les secteurs qui contribuent le plus aux émissions d'un polluant donné,
- de suivre l'évolution des émissions de polluants au fil des ans.

En région Rhône-Alpes, les Associations de Surveillance de la Qualité de l'Air (COPARLY, ASCOPARG, SUP'AIR, ATMO Drôme-Ardèche, AMPASEL) réalisent également, à une échelle géographique plus fine, des inventaires d'émissions selon la même méthodologie. Ces inventaires peuvent être spatialisés avec une maille kilométrique. En Rhône-Alpes, ces données sont disponibles pour le NO_x, le SO₂, les PM₁₀, le CO₂, le CO et les COV. Des travaux complémentaires sont en cours pour les HAP, les métaux lourds, les dioxines et les autres gaz à effet de serre.

IV.2. Facteurs d'émission

Une des étapes pour réaliser les inventaires d'émissions est de déterminer les facteurs d'émissions. Pour le secteur de la production d'énergie, les facteurs sont exprimés en unité de masse émise par unité d'énergie entrante. L'énergie entrante, exprimée habituellement en Giga Joule (GJ), est l'énergie qui peut être fournie par le combustible (en relation avec son pouvoir calorifique), cela ne représente donc pas l'énergie utile pour laquelle il faut connaître notamment le rendement des appareils.

IV.2.a. Le chauffage individuel

En 2003, le CITEPA a publié un document centré sur la détermination des facteurs d'émissions de la combustion de bois en France [Allemand, 2003]. Ces facteurs d'émission sont en cours d'actualisation. Un travail commun INERIS³/CITEPA sur la synthèse des dispositifs de réduction des émissions est en cours également, il devrait permettre d'améliorer l'inventaire et la prise en compte des performances des nouveaux appareils.

Les facteurs d'émission disponibles actuellement sont résumés dans le tableau 3.

Émissions	Cheminées ouvertes	Poêles	Cuisinières	Foyers fermés	-----Chaudières-----		
					anciennes	classe 1	classe 3
SO₂ (en g/GJ)	20	20	20	20	20	20	20
NO_x (en g/GJ)	50	50	50	50	50	50	50
COVNM (en g/GJ)	1700	1600	1600	1600	1600	400	40
CO (en g/GJ)	7000	7000	7000	6000	7000	3200	950
Particules (en g/GJ)	750	310	310	310	250	34	20
Dioxines (ng.ITEQ/GJ)	100	100	100	100	100	100	100
HAP (en mg/GJ)	284	602	602	224	55	34	34

Tableau 3. Facteurs d'émission de polluants par unité d'énergie entrante pour différents types d'appareils

³ Institut National de l'Environnement industriel et des Risques

Ces chiffres sont à utiliser avec précaution, notamment car ils sont sous la forme d'une valeur unique moyenne. En effet, l'ADEME a effectué une étude prospective des émissions du parc d'appareils domestiques en France [ADEME, 2005a]. Dans cette étude, des données plus précises sont affectées en fonction de l'ancienneté de l'appareil. En calculant les émissions globales du parc d'appareils domestiques, un écart important est observé sur les particules entre les résultats de cette étude et ceux estimés par le CITEPA en 2003 (émissions totales supérieures de 75% aux émissions estimées par le CITEPA). Selon les auteurs, cette différence provient du facteur d'émission de 700 g/GJ retenu pour les poêles, cuisinières et foyers fermés « anciens » qui sont très majoritaires dans le parc alors que le CITEPA utilise un facteur moyen de 310 g/GJ.

Ces facteurs d'émission permettent de simuler plusieurs scénarios afin de calculer les émissions futures du parc d'appareils. Quel que soit le scénario, notamment développement ou non de la filière bois, les émissions totales diminuent à l'horizon 2020. Ceci est dû en partie à la diminution des besoins de chauffage en relation avec l'application de la réglementation thermique 2005⁴ [ADEME, 2005].

Par ailleurs, une étude MEDD⁵/ADEME en collaboration avec le CITEPA, le CSTB⁶ et l'université de Savoie concernant l'évaluation de l'impact des appareils de chauffage domestique au bois sur la qualité de l'air intérieur et extérieur a commencé fin 2006.

L'objectif de ce travail d'une durée d'environ 2 ans est de mieux cerner les émissions des foyers domestiques en réalisant des essais sur site dans des conditions réelles de fonctionnement des équipements.

IV.2.b. Le chauffage collectif

En 2003, le CITEPA a révisé ses facteurs d'émission en se fondant sur des données bibliographiques dans le cadre de la même étude que celle citée précédemment [CITEPA, 2003]. Ces facteurs sont à nouveau en cours de révision.

Ces facteurs sont déterminés à partir de données mesurées, ils ne préjugent donc pas des émissions d'une installation nouvelle qui mettrait en œuvre des solutions techniques performantes pour traiter ses rejets. Il apparaît donc souhaitable d'effectuer des mesures à l'émission sur des installations nouvelles pour vérifier le respect des valeurs annoncées, notamment sur les polluants les moins documentés comme les HAP ou les métaux.

Par ailleurs, ces facteurs sont exprimés par unité d'énergie entrante. Ces données sont utiles pour établir un bilan des émissions, en revanche, elles ne sont pas directement comparables à des valeurs limites d'émission, spécifiées dans les textes réglementaires qui, elles, sont exprimées par unité de volume des fumées.

⁴ La RT 2005 s'applique aux constructions neuves et fixe une limite de consommation énergétique de référence à ne pas dépasser (plus d'infos sur www.rt2005.com).

⁵ Ministère de l'Écologie et du Développement Durable

⁶ Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

Le tableau 4 présente les différents facteurs d'émissions de polluants mis à jour :

Polluant	Facteurs d'émission CITEPA
SO ₂ (en g/GJ)	20
NO _x (en g/GJ)	200
CO (en g/GJ)	250
COV (en g/GJ)	4,9
CH ₄ (en g/GJ)	3,2
TSP (en g/GJ)	100
HAP (en g/GJ)	8.10 ⁻³
Dioxines (en ng. I-TEQ/GJ)	40
As (en mg/GJ)	9,5
Cd (en mg/GJ)	1,4
Cr (en mg/GJ)	47
Cu (en mg/GJ)	31
Hg (en mg/GJ)	0,8
Ni (en mg/GJ)	11
Pb (en mg/GJ)	90
Se (en mg/GJ)	7
Zn (en mg/GJ)	290

Tableau 4. Facteurs d'émission du CITEPA – Biomasse

- Les émissions de NO_x sont plus importantes dans cette catégorie. En revanche, les émissions des autres polluants (par unité d'énergie entrante) sont réduites dans ces systèmes qui possèdent des équipements plus performants (par rapport aux appareils indépendants).

- Les « TSP » représentent toutes les particules en suspension. Ce sont uniquement les particules les plus fines qui sont réglementées : particules en suspension de diamètre inférieur à 10 µm (PM₁₀). Le facteur d'émission des PM₁₀ n'est pas donné dans le tableau, toutefois, il a été montré antérieurement que dans le cadre de la combustion du bois, les particules émises sont des particules très fines (<1 µm).

- Les facteurs d'émission sont parfois donnés par famille, c'est le cas notamment des COV. Il serait intéressant au sein de cette famille d'avoir des informations plus fines, notamment sur le benzène, qui est un polluant réglementé.

- La répartition des différents HAP au sein de cette famille de polluants n'a pas été revue en 2003. Des facteurs d'émission sont calculés pour chaque composé de la famille à partir d'une répartition plus ancienne et du facteur actuel pour les HAP globaux.

Les facteurs d'émission sont rassemblés dans le tableau 5.

	Facteurs d'émission en g/GJ
Acénaphène	$2,67.10^{-3}$
Acénaphylène	$2,44.10^{-3}$
Anthracène	$1,43.10^{-5}$
Benzo(a)anthracène	$7,14.10^{-6}$
Benzo(a)pyrène	$1,78.10^{-5}$
Benzo(b)fluoranthène	$3,93.10^{-5}$
Benzo(g,h,i)pérylène	$1,78.10^{-5}$
Benzo(k)fluoranthène	$1,07.10^{-5}$
Chrysène	$2,50.10^{-5}$
Dibenzo(a,h)anthracène	$7,14.10^{-6}$
Fluoranthène	$1,07.10^{-4}$
Fluorène	$6,42.10^{-5}$
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	$7,14.10^{-5}$
Naphtalène	$1,96.10^{-3}$
Phénantrène	$4,78.10^{-4}$
Pyrène	$6,78.10^{-5}$

Tableau 5. Facteurs d'émission du CITEPA pour les HAP - Biomasse

Comparaison avec d'autres sources d'émission

L'étude réalisée par le CITEPA fournit également une comparaison des facteurs d'émissions calculés pour différents combustibles, cette comparaison est présentée dans le tableau 6.

Polluant	Type de combustible				BOIS
	HOUILLE	FIOUL LOURD	FIOUL DOMESTIQUE	GAZ NATUREL	
SO ₂ (en g/GJ)	618	819	95	0,5	20
NO _x (en g/GJ)	160	170	100	60	200
CO (en g/GJ)	200	15	15	19	250
COVM (en g/GJ)	15	3	1,5	4	4,9
CH ₄ (en g/GJ)	15	3	1,5	4	3,2
Particules (en g/GJ)	100	48	3	0	100
HAP (en g/GJ)	$1,9.10^{-3}$	5.10^{-6}	0	0	8.10^{-3}
Dioxines (en ng. I-TEQ/GJ)	3,85	2,5	0	0	40
As (en mg/GJ)	2,69	4,5	0	0	9,5
Cd (en mg/GJ)	0,15	1,25	0	0	1,4
Cr (en mg/GJ)	5,77	8,5	0	0	47
Cu (en mg/GJ)	6,15	6,5	0	0	31
Hg (en mg/GJ)	11,5	2	0	0	0,8
Ni (en mg/GJ)	7,69	700	0	0	11
Pb (en mg/GJ)	2,69	9,3	0	0	90
Se (en mg/GJ)	0,618	4	0	0	7
Zn (en mg/GJ)	19,2	25	0	0	290

**Tableau 6. Emissions de polluants pour différents types de combustibles
(Source : CITEPA 2003)**

Selon cette étude, le bois est globalement plus émetteur de CO, particules, HAP, dioxines, la plupart des métaux lourds (hormis le mercure et le nickel) et dans une moindre mesure de NOx et de COVNM⁷ que le fioul lourd.

Les auteurs de l'étude soulignent toutefois la nécessité de collecte de données plus importante pour les chaudières fonctionnant au fuel lourd et de nouveaux résultats de mesure concernant les HAP, les dioxines pour le fuel lourd et le charbon et les métaux lourds pour tous les types de combustibles.

IV.3. Les émissions en Rhône-Alpes

Comme évoqué précédemment, les inventaires d'émissions permettent d'identifier la part des différents secteurs par rapport aux émissions totales de polluant sur une zone.

Les émissions liées au chauffage sont incluses dans la catégorie « résidentiel/tertiaire/artisanat » ou dans celle de l'industrie pour les grosses installations de type chauffage urbain qui sont déclarées comme activité de production d'énergie.

Les figures 1 à 4 présentent les répartitions des émissions (en kilotonnes – kt) par secteur pour la région Rhône-Alpes pour les polluants suivants : NOx, PM₁₀, COV, SO₂, CO et HAP.

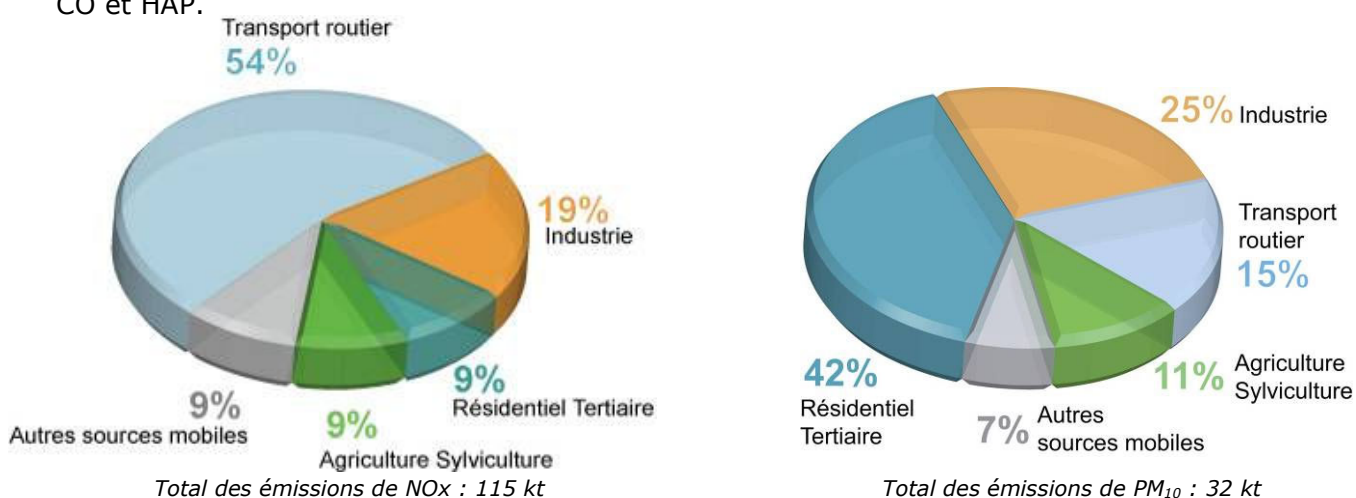


Figure 1. Répartition des émissions de NOx (à gauche) et de PM₁₀ (à droite) en Rhône-Alpes par secteur d'activité en 2003 (Source : Atmo Rhône-Alpes 2007)

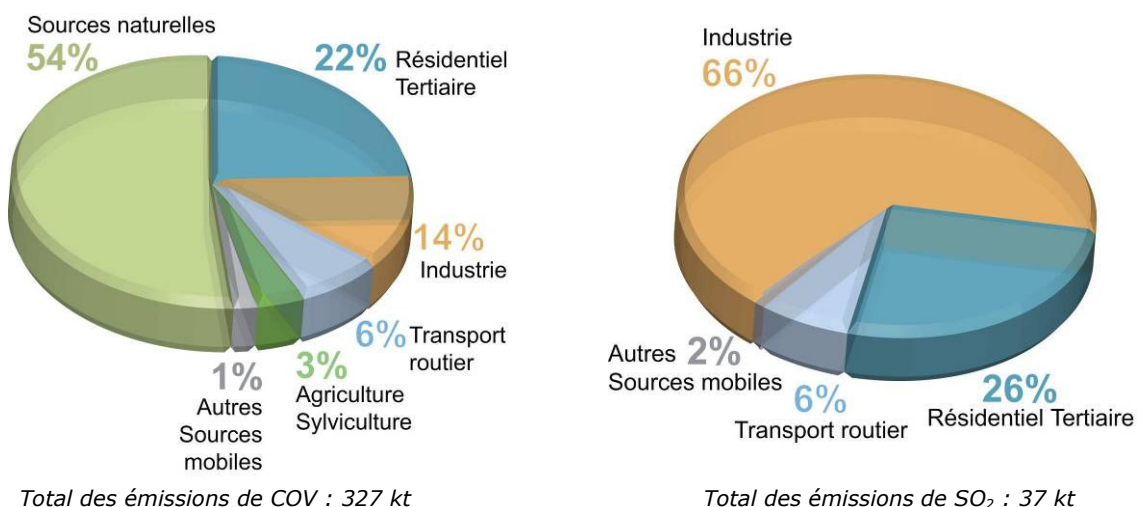
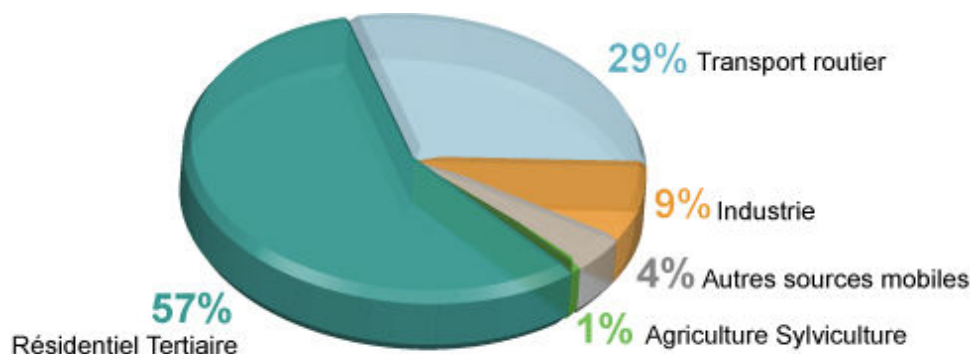


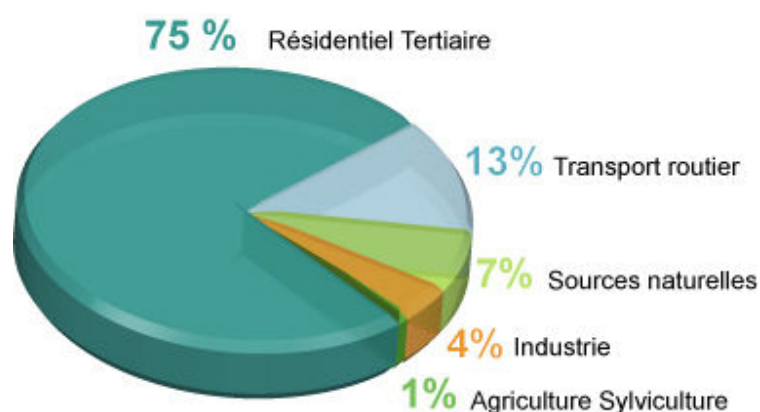
Figure 2. Répartition des émissions de COV (à gauche) et de SO₂ (à droite) en Rhône-Alpes par secteur d'activité en 2003 (Source : Atmo Rhône-Alpes 2007)

⁷ Composés Organiques Volatils Non Méthaniques



Total des émissions : 420 kt de CO

Figure 3 . Répartition des émissions de CO en Rhône-Alpes par secteur d'activité en 2003 (Source : Atmo Rhône-Alpes 2007)



Total des émissions de HAP⁸ : 3 kt

Figure 4. Répartition des émissions de HAP⁸ en Rhône-Alpes par secteur d'activité (Source : CITEPA⁹ 2000)

Les camemberts présentés mettent en évidence que, pour les particules (PM₁₀) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), le résidentiel/tertiaire est le secteur qui est le plus émetteur. Au niveau national, les données parues en 2007 précisent que 77% des émissions de HAP sont dues à la combustion du bois dont 99% dans le secteur résidentiel/tertiaire [CITEPA, 2007a].

Concernant les particules PM₁₀, la part du secteur « résidentiel/tertiaire » pour l'année 2003 est de 42% en Rhône-Alpes alors qu'elle est de 29% au niveau national [CITEPA, 2007b]. A noter que la part de ce secteur augmente lorsqu'on s'intéresse aux particules les plus fines. Ainsi, selon les estimations du CITEPA, pour l'année 2003, ce secteur représente 21% des PM₁₀, 43% des PM_{2,5} et 64% des PM₁.

Les figures 1 à 4 représentent les contributions des grands secteurs d'activité. Au sein du « résidentiel/tertiaire », il est possible de préciser l'influence du chauffage au bois dans les émissions totales. Il est important de souligner que ces données, présentées ci après, correspondent à l'année 2003, or ces dernières années ont connu des changements importants au niveau de l'utilisation du bois-énergie qui ont un impact potentiel sur les émissions (promotion du bois-énergie, meilleure performance des équipements,...).

⁸ 4 HAP : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, indeno(1,2,3)pyrène

⁹ Centre Inteprofessionnel d'Etudes de la Pollution Atmosphérique

Les figures 5 et 6 concernent le chauffage résidentiel et ne prennent pas en compte les grosses installations collectives de type chauffage urbain qui sont recensés dans le secteur industriel. Par exemple, dans l'agglomération de Lyon, la chaufferie de Vénissieux- Minguettes d'une puissance de 12 MW n'est pas comprise dans ce secteur.

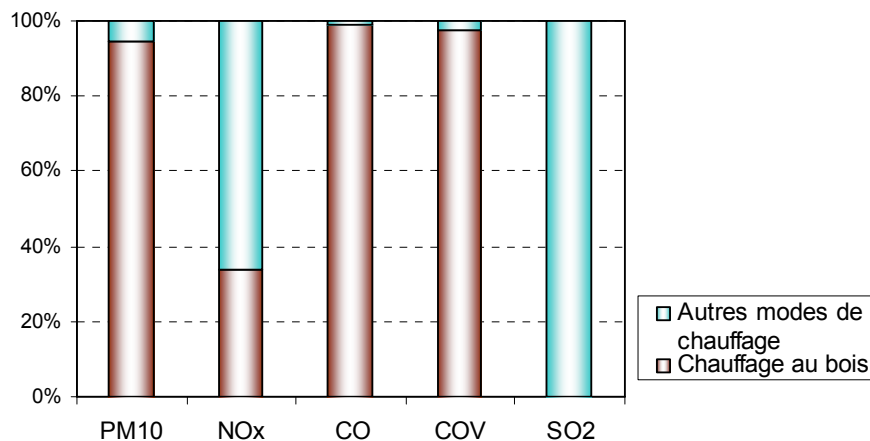


Figure 5. Répartition des émissions de polluants par type de chauffage dans le secteur résidentiel en Rhône Alpes en 2003 (Source : Atmo Rhône-Alpes 2007)

Concernant les PM₁₀, le CO et les COV, la grande majorité des émissions du secteur résidentiel provient du chauffage au bois.

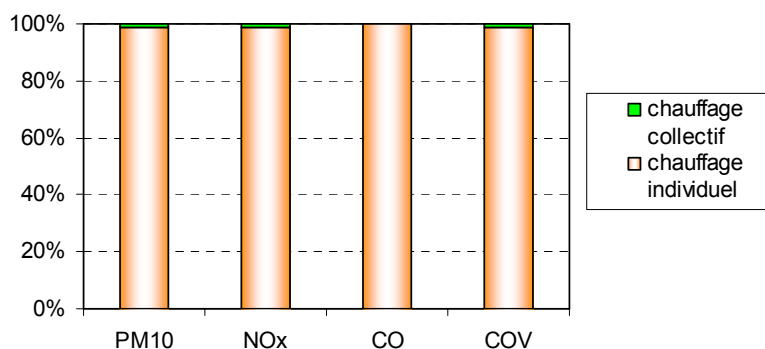


Figure 6. Part des émissions des chauffages individuel et collectif dans les émissions totales du chauffage au bois du secteur résidentiel/tertiaire en Rhône-Alpes en 2003 (Source : Atmo Rhône-Alpes 2007)

Par ailleurs, la figure 6 montre que, quel que soit le polluant, le mode de chauffage individuel est le contributeur principal aux émissions totales du chauffage au bois. Toutefois, étant donné que ce secteur ne prend pas en compte les plus grosses chaufferies, il faudrait approfondir l'inventaire afin d'avoir une meilleure représentation des différentes parts.

La figure 7 présente les émissions de PM₁₀ selon différents échelles spatiales : les départements, les villes et les unités urbaines¹⁰. Les grandes agglomérations de la région (Lyon, Grenoble et St Etienne) sont peu contributrices aux émissions du chauffage au bois.

¹⁰ Unité urbaine de Lyon : 1 348 915 hab, Unité urbaine de Grenoble : 419 231 hab, Unité urbaine de Saint Etienne : 288 200 hab [INSEE, 1999]

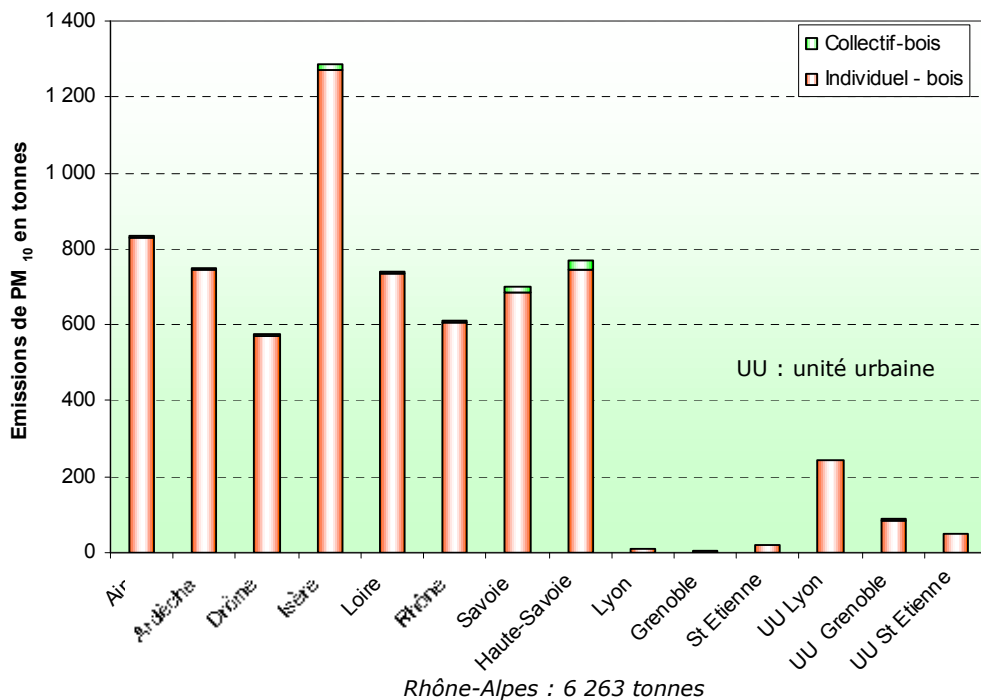


Figure 7. Emissions de PM₁₀ en tonnes liées au chauffage au bois en 2003
(Source : Atmo Rhône-Alpes 2007¹¹)

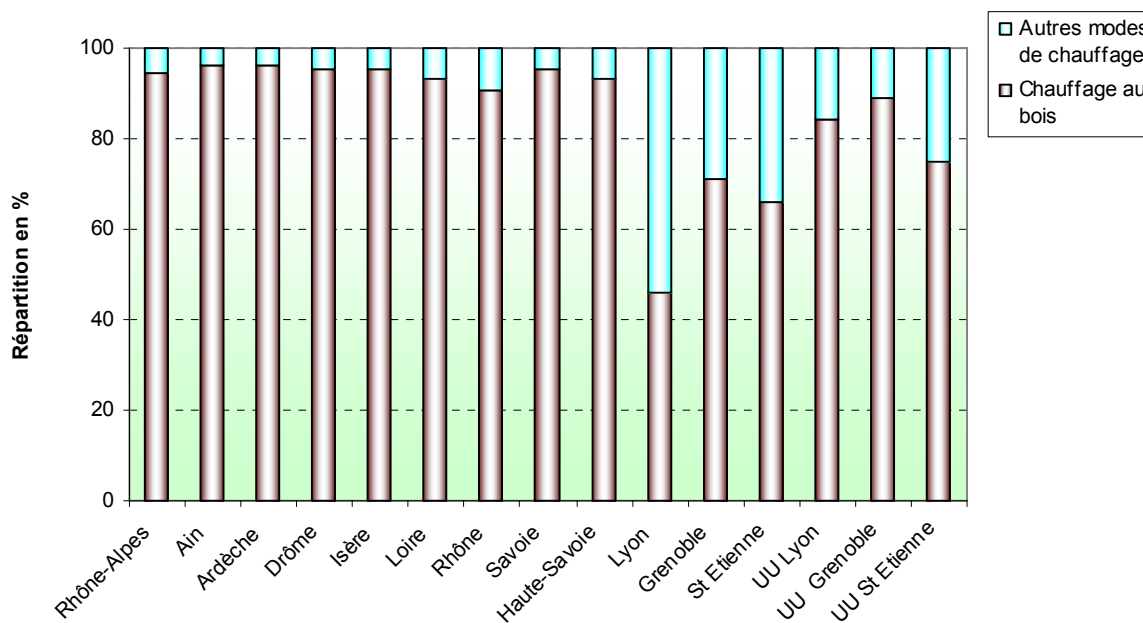


Figure 8. Répartition des émissions de PM₁₀ selon les modes de chauffage en 2003
(Source : Atmo Rhône-Alpes 2007)

¹¹ Les degrés jours ne sont pas intégrés aux calculs actuels. Cela signifie que pour un logement identique, les émissions associées sont les mêmes à Lyon que dans un village à 1700 mètres d'altitude par exemple... alors que l'évolution des degrés jours utiles selon l'altitude laisse penser qu'il faut chauffer jusqu'à 2 fois plus en montagne, là où le chauffage au bois est répandu.

Sur l'ensemble de la région Rhône-Alpes, la part du chauffage en bois dans les émissions de PM₁₀ liées à tous les modes de chauffage est supérieure à 90%. Cette part diminue dans les grandes agglomérations jusqu'à moins de 50 % pour la ville de Lyon compte tenu d'une moindre utilisation de ce type de combustible.

V. Les paramètres influençant les émissions

Le paragraphe précédent dresse l'état des lieux en 2003 en termes d'émissions globales et de part des émissions de la combustion de bois dans les émissions totales de différents polluants. Toutefois, comme il a été souligné, ces données présentent un inconvénient majeur : elles sont fondées sur des valeurs moyennes qui ne représentent pas la diversité des situations rencontrées.

Afin de répondre à la problématique actuelle, des données précises sont nécessaires sur les émissions de chaque type d'équipement, et notamment sur les paramètres influençant ces émissions.

La bibliographie existante fournit d'ores et déjà des éléments sur les facteurs influents qu'il conviendrait de mieux quantifier.

V.1. **Chauffage individuel**

Une synthèse bibliographique a été réalisée dans le cadre d'une thèse sur les dispositifs de traitement des imbrûlés des appareils de chauffage indépendants au bois [Rabot-Querci, 2006]. Cette synthèse est très détaillée et les tableaux récapitulatifs dressés par polluant montrent d'une part, une gamme importante de valeurs (par exemple de 0,051 g/kg à 15,69 g/kg de particules émises), et d'autre part des données exprimées dans des unités diverses (g/kg bois, g/kg bois sec, g/m³, g/Nm³, g/GJ) qui rendent les comparaisons délicates.

En conclusion de cette étude, les principaux paramètres influents mis en évidence sont :

- les caractéristiques du combustible (essence, taux de cendres, taux d'humidité,..)
- la nature du foyer (géométrie, distribution d'air, tirage, ...)
- la qualité de fonctionnement (temps de séjour, excès d'air, charge de bois,...)
- les paramètres liés à l'installation.

Afin de réduire les émissions, il faut donc viser « à avoir une oxydation la plus complète possible à l'intérieur de la chambre de combustion et à avoir une température suffisante et un bon mélange ».

Par ailleurs, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment a conduit des essais en 2004 sur un insert et un foyer fermé afin de tester l'influence de divers paramètres [CSTB, 2004]. Cette étude met en évidence que pour un insert le fait de fonctionner en allure réduite peut multiplier par un facteur jusqu'à 6-7 les émissions par rapport à l'allure nominale¹². De même, la combustion de bois humide augmente d'un facteur 2 à 4 les émissions de l'appareil par rapport à du bois sec. Les valeurs trouvées peuvent être inférieures à celles du CITEPA. L'étude conclue que « **le peu de valeurs disponibles dans la bibliographie ne permet pas de caractériser la contribution de la combustion de bois à la pollution** ».

Ces deux études soulignent une nouvelle fois le nombre élevé de facteurs entrant en jeu dans les émissions de polluants des appareils indépendants de chauffage au bois.

¹² La puissance nominale est la puissance thermique maximale fixée et garantie par le constructeur comme pouvant être délivrée en marche continue.

V.2. Chauffage collectif

Une étude réalisée par ANTEA à la demande de l'ADEME [ADEME, 2005b] concernant l'évaluation des risques sanitaires d'une chaufferie bois collective a donné lieu notamment à une synthèse bibliographique sur les émissions des chaudières bois. Des différentes études recensées ressort notamment l'importance du **dimensionnement** (« ...une chaudière surdimensionnée fonctionne à faible charge avec des températures de combustion plus faibles et des émissions polluantes (notamment en CO) plus élevées. »), **de l'humidité du combustible** et **de l'exploitation des installations**. Il ressort également que la plupart des chaudières respectent les normes en vigueur et que les rejets atmosphériques sont limités lorsque la technologie est bien dimensionnée. En conclusion, les auteurs soulignent l'importance de maîtriser les trois paramètres que sont la diversité du combustible, les performances et le mode d'exploitation de l'équipement.

Les variations importantes des rejets de polluants et les conclusions des études amènent plusieurs remarques.

- 1) Les facteurs d'émission déterminés pour réaliser les inventaires d'émission sont difficilement utilisables pour traiter d'un cas particulier. Il n'existe pas assez de données par type d'appareil (et type d'équipements mis en place).
- 2) Le grand nombre de paramètres à maîtriser pour une bonne combustion, et donc des rejets moindres de polluants, souligne la nécessité de réaliser rapidement des mesures d'émissions sur site dans des conditions réelles d'utilisation.
- 3) Les chaudières de quelques dizaines voire quelques centaines de kW, qui font partie des projets qui se développent de manière importante actuellement, ne sont pas bien caractérisées. Le travail réalisé par ANTEA sur les chaudières de 5 MW n'est pas applicable, notamment à cause des caractéristiques du rejet (hauteur de cheminée).

PARTIE II. QUALITE DE L'AIR ET CHAUFFAGE AU BOIS

Les émissions du chauffage au bois sont plus ou moins bien caractérisées. De la même façon, il existe très peu de données sur les niveaux de polluants mesurés dans l'air attribuables à la source « chauffage au bois ». Une raison à ce manque de données est tout d'abord le manque de spécificité des polluants émis par le chauffage au bois et mesurés classiquement. Dans l'atmosphère, les polluants émis par différentes sources, comme le trafic et l'industrie notamment, se mélangent, il n'est pas toujours aisé de pouvoir attribuer les polluants présents à telle ou telle source. A titre d'exemple, les HAP émis par la combustion incomplète du bois sont également émis par le trafic automobile ou certaines industries.

VI. Au niveau national

VI.1. Les études

- ✓ Méaudre, village rural de moyenne montagne situé dans le massif du Vercors, a été retenu pour étudier l'influence du chauffage domestique au bois sur les concentrations en HAP dans le cadre d'un programme pilote national de mesures de concentrations de HAP. Cette commune a été retenue du fait d'une forte utilisation du chauffage domestique au bois par la population. Les mesures ont été faites du 18 novembre 2004 au 21 janvier 2005. Dans une première phase, l'INERIS a réalisé une campagne de 7 jours consécutifs suivie de prélèvements hebdomadaires de l'ASCOPARG. D'après cette étude réalisée par l'INERIS, les caractéristiques du site de prélèvement ainsi que la nature des HAP observés et leur évolution en fonction des températures confirment l'influence non négligeable du chauffage domestique au bois dans les concentrations observées.
- ✓ Dans le cadre du programme POVA (Pollution des Vallées Alpines), la contribution de la combustion de bois avait été estimée entre 10 et 30% des PM_{10} dans l'air ambiant dans les vallées alpines selon les sites. Les auteurs soulignent que « ces chiffres indicatifs demanderaient des compléments d'études, mais sont tout à fait significatifs par rapport aux concentrations des PM_{10} mesurées ».
- ✓ L'INERIS mène actuellement une étude sur les foyers domestiques. Un poster a été présenté lors de la conférence sur l'épidémiologie et l'exposition, ISEE-ISEA 2006¹³, à Paris. Une évaluation des risques sanitaires est réalisée pour des habitants d'un village « fictif » dont une centaine de maisons sont chauffées au bois (foyers fermés, inserts et cuisinières). L'étude est fondée sur la modélisation de la dispersion atmosphérique des émissions des foyers. Ce cas théorique montre que les concentrations estimées de HAP, $PM_{2,5}$ et benzène peuvent atteindre des niveaux équivalents à ceux mesurés en milieu urbain.
- ✓ Une autre étude de l'INERIS est en cours, en collaboration avec des AASQA. Elle consiste à mesurer un traceur spécifique de la combustion du bois, le levoglucosan, pendant la période de chauffe en milieu urbain. L'agglomération de Grenoble fait partie de cette étude. Les mesures seront terminées au printemps 2007. Actuellement, il n'y a pas, au niveau national, de données relatives à ce traceur en milieu urbain.
- ✓ Enfin, l'étude MEDD/ADEME, citée en page 9, vise également à étudier la contribution du chauffage domestique aux concentrations de certains polluants dans l'air intérieur et extérieur par la mesure de traceurs spécifiques.

¹³ Conférence internationale sur l'épidémiologie et l'exposition.

Alors que les principales émissions liées au chauffage au bois ont lieu dans des communes plutôt rurales, le bien-fondé de réaliser ces mesures en milieu urbain pourrait être contesté. Deux raisons le justifient :

- les niveaux de polluants, comme les particules, sont déjà élevés (cf. paragraphe suivant).
- les émissions sont susceptibles d'augmenter avec la promotion du bois-énergie et le développement du petit collectif.

VI.2. Les niveaux de polluants en milieu urbain

En milieu urbain, de nombreux polluants sont mesurés. Le paragraphe suivant s'intéresse particulièrement à trois polluants ou familles de polluants : les particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 μm , les HAP et le benzène. Ces composés sont retenus en raison de leur contribution dans les émissions liées au chauffage au bois (chapitre IV.3).

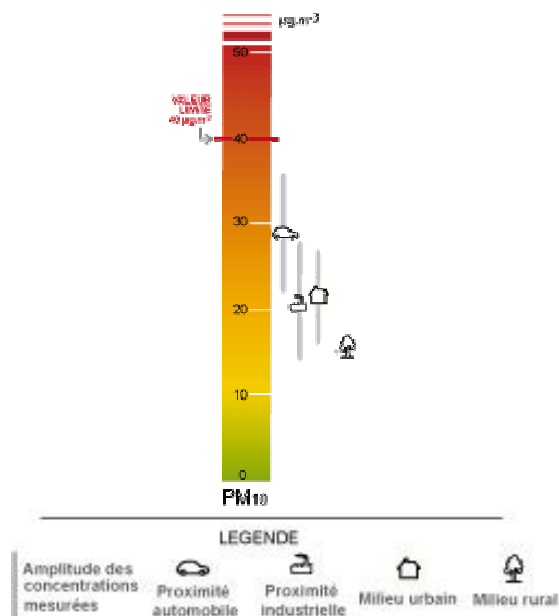
a) Les particules en suspension (PM_{10})

Les particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 μm sont mesurées en continu par les associations de surveillance de la qualité de l'air dans les principales agglomérations. Sur l'ensemble de la région Rhône-Alpes, les valeurs limites en moyenne annuelle sont respectées.

En revanche, en période hivernale, des dépassements du seuil d'information et de recommandations (80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière) sont régulièrement observés.

Par exemple, en 2006, dans la zone urbaine de Lyon, le seuil d'information et de recommandations¹⁴ a été dépassé 3 fois : le 31 janvier, le 01 février et le 16 décembre.

Figure 9. Moyenne annuelle 2006 de PM_{10} par type d'environnement



b) Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

Le benzo(a)pyrène est le seul HAP réglementé dans l'air ambiant [Directive 2004/107/CE].

La figure 10 présente l'évolution de la moyenne annuelle de benzo(a)pyrène de 2002 à 2006 pour l'ensemble des stations fixes de Grenoble et Lyon, au regard de la valeur cible de 2012 (1 ng.m^{-3}). **La valeur cible est dépassée systématiquement sur le site « industriel » de Vénissieux (zone urbaine de Lyon) depuis 2004** et l'a été une fois en 2003 en proximité automobile à Grenoble (Le Rondeau).

¹⁴ Le seuil d'information et de recommandations pour les particules est de 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière (de 17h à 16h). En cas de dépassement de ce seuil, des recommandations sanitaires sont adressées aux sujets sensibles et des recommandations comportementales à l'ensemble de la population (plus d'informations sur www.atmo-rhonealpes.org)

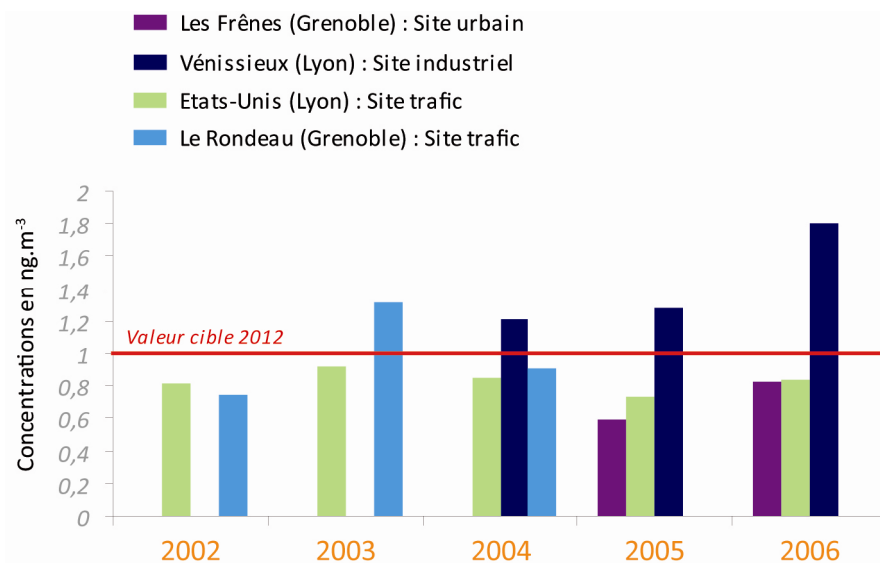


Figure 10. Evolution de la moyenne annuelle de benzo(a)pyrène

En site urbain de fond (Grenoble Les Frênes), depuis 2005, les moyennes annuelles respectent la valeur cible, cependant la moyenne annuelle 2006 est plus élevée et pratiquement égale à celle d'un site trafic (Lyon Etats-Unis).

Dans les grandes agglomérations des départements du Rhône et de l'Isère, le niveau ambiant de HAP est élevé par rapport à d'autres grandes agglomérations, comme Paris. Un rapport spécifique sur ces polluants a été publié par des associations de Rhône-Alpes [ASCOPARG, COPARLY, SUP'AIR, 2007].

c) Le benzène

Une étude réalisée en 2005 par les AASQA de Rhône-Alpes a permis d'établir la cartographie régionale de la pollution de fond en benzène.

Dans certaines zones urbaines, représentant 0,5% du territoire de la région, les concentrations annuelles de benzène sont comprises entre 1,5 et 2 µg.m⁻³ hors proximité automobile ou industrielle. Ces zones denses en population représentent 16% de la population, soit environ 900 000 habitants.

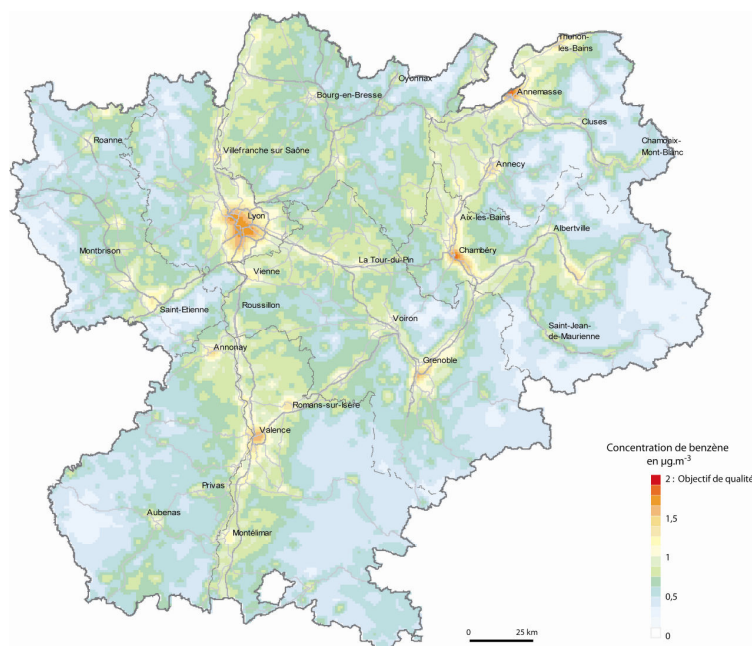


Figure 11. Moyenne annuelle de benzène en 2005

L'objectif de qualité en moyenne annuelle pour le benzène est de 2 µg.m⁻³. Cet objectif est respecté sur les stations urbaines de fond de la région Rhône-Alpes. En proximité automobile, la moyenne annuelle 2005 sur la station « Garibaldi » à Lyon est de 3,4 µg.m⁻³.

VII. Au niveau international

La relation entre le chauffage au bois et la pollution atmosphérique a été étudiée et est avérée dans plusieurs pays. Des actions de sensibilisation sur les émissions polluantes de ce mode de chauffage ont été menées depuis plusieurs années au Canada ou très récemment comme en Allemagne.

VII.1. Au Canada

Au Canada, le chauffage au bois est très répandu. Depuis plusieurs années, les instances gouvernementales ont lancé des campagnes de sensibilisation et d'information pour diminuer les émissions liées au chauffage au bois. Celles-ci incluent notamment la diffusion d'information pour le remplacement des appareils par des appareils plus performants (certifiées par l'EPA¹⁵), l'encouragement à ne pas utiliser ce mode de chauffage comme mode de chauffage principal ou en cas d'avertissement d'épisodes de pollution. Des campagnes d'échantillonnage réalisées à Montréal depuis 1999 ont en effet montré l'influence du chauffage au bois sur les niveaux de particules, de HAP et de COV, notamment en soirée et le week-end [Environnement Canada].

VII.2. En Suisse

Une étude réalisée par des chercheurs suisses [Szidat, 2006] définit la part attribuable de diverses sources dans les émissions de carbone élémentaire et organique en se fondant sur la mesure du carbone 14 (¹⁴C). Deux périodes de mesure ont été réalisées d'août à septembre 2002 et de février à mars 2003. La part de la combustion de biomasse atteint 25% du carbone élémentaire et 41 % du carbone organique en hiver alors que cette source est marginale dans la consommation d'énergie locale. En été, cette part est estimée respectivement à 6 et 10%.

En Suisse, le plan d'action contre les particules fines prévoit de renforcer la réglementation pour les chaudières de petite puissance. Un projet de modification de l'ordonnance sur la protection de l'air (OP'Air) est actuellement en cours de consultation. Les deux mesures ci-dessous notamment sont proposées :

- Preuve de conformité pour les chauffages au bois d'une puissance maximale de 350 kW. Les nouvelles installations ne pourront être mises dans le commerce qu'après qu'il aura été prouvé qu'elles sont conformes aux normes de l'Union Européenne.
- Renforcement de la valeur limite de particules pour les chauffages au bois d'une puissance de 70 kW.

VII.3. En Allemagne

L'*Umweltbundesamt* (Agence Fédérale de l'Environnement) en Allemagne a publié début 2007 un guide d'une dizaine de pages à l'attention des utilisateurs de chauffage au bois. Ce guide a été accompagné d'un communiqué de presse. Ce communiqué rappelle que le bois est un combustible neutre vis-à-vis du climat mais que la combustion dans des conditions non optimales ou l'utilisation de combustibles non appropriés peut entraîner une pollution de l'air, à travers notamment les particules et les hydrocarbures aromatiques polycycliques. Les quatre recommandations principales sont les suivantes :

- se débarrasser des vieux foyers,
- choisir le bon combustible (propre et sec),
- bien faire fonctionner son installation, notamment en suivant les conseils de l'installateur,
- entretenir régulièrement son installation, au minimum avant chaque période de chauffe.

¹⁵ Environmental Protection Agency : Agence de Protection de l'Environnement.

CONCLUSION

Les éléments rassemblés dans le cadre de ce bilan montrent que de nombreuses incertitudes demeurent sur les émissions de polluants liées à la combustion du bois, notamment dans les conditions réelles de fonctionnement des appareils de chauffage, et par conséquent sur leur impact sur la qualité de l'air.

Toutefois, plusieurs éléments factuels incitent à un encadrement de l'usage du bois-énergie, surtout dans le chauffage individuel :

- ✓ les émissions de polluants présentant des risques sanitaires avérés, plus importantes qu'avec les autres combustibles,
- ✓ les nombreux paramètres influençant les émissions (combustible, équipement, fonctionnement de l'installation, ...).

Aussi, il semble nécessaire, dans le cadre d'un développement durable du bois-énergie :

- ✓ **de renforcer les connaissances, notamment sur les émissions atmosphériques des différents matériels en fonctionnement réel,**
- ✓ **de sensibiliser les professionnels à l'importance du dimensionnement des installations,**
- ✓ **de sensibiliser la population, comme cela est déjà fait dans d'autres pays, sur l'importance d'une bonne combustion et de la provenance du bois utilisé dans les foyers domestiques pour réduire les émissions.**

Par ailleurs, des travaux sur le traitement et la filtration des émissions doivent être renforcés.

BIBLIOGRAPHIE

Environnement Canada. Le chauffage résidentiel au bois. Sommaire des résultats obtenus de 1999 à 2002.

ADEME. Brochure « Bois Energie – Le bilan en Rhône-Alpes ».

ASCOPARG, COPARLY, SUP'AIR (2007) Hydrocarbures aromatiques polycycliques. Bilan de la surveillance en air ambiant dans les départements du Rhône et de l'Isère.

Bernard C., Rabot-Querci M.L. et al, (2006) *Optimiser la combustion pour un développement durable du bois-énergie*, Oil, Gas Science and Technology – Rev. IFP, Vol 61, n°2, pp 203-211.

ADEME (2005a) Evaluation comparative actuelle et prospective des émissions du parc d'appareils domestiques de chauffage en France.

ADEME (2005b) Evaluation des risques sanitaires d'une chaufferie de bois collective. ANTEA A38118/C.

Allemand N. (2003) Estimation des émissions de polluants liées à la combustion du bois en France", CITEPA.

CITEPA (2007a) C'est dans l'air. Lettre d'information sur les aspects réglementaires, techniques, scientifiques et économiques de la pollution de l'air. Avril 2007.

CITEPA (2007b) Rapport d'Inventaire national. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France – Séries sectorielles et analyses étendues. Février 2007.

CSTB (2004) Synthèse des émissions polluantes issues de la combustion dans les appareils indépendants au bois à usage domestique. EN-CAPE 04.106C-V1

Directive 2004/107/CE du Parlement Européen et du Conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant.

Rabot-Querci M-L (2006) Etude d'un dispositif de traitement des imbrûlés des appareils de chauffage indépendants au bois, Thèse de doctorat. Spécialité Sciences du bois.

Szidat S., Jenk T.H., Synal H.-A., Kalberer M., Wacker L., Hajdas I. Kasper-Giebl A. et Baltensperger U. (2006) Contributions of fossil fuels, biomass burning, and biogenic emissions to carbonaceous aerosols in Zurich as traced by ¹⁴C, J. Geophys. Res., 111, D07206, doi:10.1029/2005JD006590.