

Projet RisaChaBois

**Pour une meilleure connaissance des risques
sanitaires associés aux émissions des chaufferies bois.**

Rapport n° 2130-001

Diffusion : octobre 2021

Atmo Normandie

3 Place de la Pomme d'Or, 76000 ROUEN

Tél. : +33 2.35.07.94.30

Fax : +33 2.35.07.94.40

contact@atmonormandie.fr

Avertissement

Atmo Normandie est l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Normandie. Elle diffuse des informations sur les problématiques liées à la qualité de l'air dans le respect du cadre légal et réglementaire en vigueur et selon les règles suivantes :

La diffusion des informations vers le grand public est gratuite. Atmo Normandie est libre de leur diffusion selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site internet (www.atmonormandie.fr), ... Les documents ne sont pas systématiquement rediffusés en cas de modification ultérieure.

Lorsque des informations sous quelque forme que ce soit (éléments rédactionnels, graphiques, cartes, illustrations, photographies...) sont susceptibles de relever du droit d'auteur elles demeurent la propriété intellectuelle exclusive de l'association. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle de ces informations faites sans l'autorisation écrite d'Atmo Normandie est illicite et constituerait un acte de contrefaçon sanctionné par les articles L.335-2 et suivants du Code de la Propriété Intellectuelle.

Pour le cas où le présent document aurait été établi pour partie sur la base de données et d'informations fournies à Atmo Normandie par des tiers, l'utilisation de ces données et informations ne saurait valoir validation par Atmo Normandie de leur exactitude. La responsabilité d'Atmo Normandie ne pourra donc être engagée si les données et informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées, quelles qu'en soient les répercussions.

Atmo Normandie ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations, travaux intellectuels et publications diverses de toutes natures, quels qu'en soient les supports, résultant directement ou indirectement de ses travaux et publications.

Les recommandations éventuellement produites par Atmo Normandie conservent en toute circonstance un caractère indicatif et non exhaustif. De ce fait, pour le cas où ces recommandations seraient utilisées pour prendre une décision, la responsabilité d'Atmo Normandie ne pourrait en aucun cas se substituer à celle du décideur.

Toute utilisation totale ou partielle de ce document, avec l'autorisation contractualisée d'Atmo Normandie, doit indiquer les références du document et l'endroit où ce document peut être consulté.

Rapport n° 2130-001

Le 11/10/2021

Le rédacteur,

Benoît WASTINE

Référent territorial

Nicolas LEPELLEY

Atmo Normandie – 3, Place de la Pomme d'Or - 76000 ROUEN

Tél. : 02 35 07 94 30 - mail : contact@atmonormandie.fr

www.atmonormandie.fr

Résumé

La DREAL Normandie, l'Ademe Normandie, l'ARS Normandie, la Région Normandie, ATMO Normandie et Biomasse Normandie ont convenu de travailler ensemble dans le cadre du projet Risachabois visant à accompagner le développement des chaufferies bois collectives en Normandie.

L'enjeu est de développer la filière tout en minimisant l'impact sur la qualité de l'air et les risques sanitaires associés. Avant de travailler sur la scénarisation par modélisation de différentes configurations d'implantation de chaufferies bois sur le territoire, il a été convenu avec les partenaires qu'une étape préalable consisterait en une analyse bibliographique des enjeux liés au développement des chaufferies bois collectives : quels polluants émis ? quels risques sanitaires documentés ? quel cadre réglementaire pour les chaufferies bois ? quels impacts sur la qualité de l'air ?

Ce rapport apporte les éléments nécessaires à la réalisation d'un état des lieux sur l'impact environnemental et sanitaire de la combustion de biomasse en général et des chaufferies bois en particulier.

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| 1. Introduction | 6 |
| 2. Éléments nécessaires à la compréhension du document | 6 |
| 2.1. Contexte | 6 |
| 2.2. Objectifs et approche choisie..... | 9 |
| 3. La combustion de biomasse– quels polluants ? quels impacts sanitaires ?..... | 9 |
| 3.1. Les émissions de polluants,..... | 9 |
| 3.1.1. Généralités sur la combustion de biomasse..... | 9 |
| 3.1.1.1. La composition du bois..... | 9 |
| 3.1.1.2. Le processus de combustion..... | 10 |
| 3.1.1.3. Les marqueurs gazeux | 11 |
| 3.1.1.4. Les marqueurs particulières..... | 11 |
| 3.1.2. Des spécificités selon le type de combustion de biomasse | 14 |
| 3.2. Les effets sanitaires associés à la combustion de biomasse..... | 18 |
| 3.2.1. Généralités | 18 |
| 3.2.2. Des effets spécifiques selon la nature de la pollution particulaire..... | 18 |
| 3.2.3. Bilan | 20 |
| 4. Cas des chaufferies bois | 21 |
| 4.1. La réglementation en vigueur..... | 21 |
| 4.2. Bilan des campagnes de mesures à l'émission | 22 |
| 4.3. Les facteurs d'émission..... | 24 |
| 4.4. Les études d'impact | 25 |
| 4.4.1. Etudes 'ex-ante' | 26 |
| 4.4.2. Etudes 'ex-post' | 28 |
| 4.4.3. Des nuisances ponctuellement signalées | 32 |
| 5. Conclusion et perspectives..... | 34 |
| 6. Bibliographie..... | 36 |



Sigles, symboles et abréviations

- AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'air
- ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
- ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
- ASPA : Association pour l'étude et la Surveillance de la Pollution Atmosphérique en Alsace
- As : Arsenic
- BaP : Benzo(a)Pyrène
- C₆H₆ : Benzène
- CARA : Programme de « Caractérisation Chimique des Particules » dans le cadre de L'observatoire national de la composition chimique et des sources de particules fines en milieu urbain du LCSQA
- Cd : Cadmium
- CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer
- CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
- CO₂ : dioxyde de carbone
- CO : monoxyde de carbone
- COVNM : composés organiques volatils non méthaniques
- COSV : composés organiques semi-volatils
- DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
- HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques
- INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des Risques
- LCSQA : Laboratoire Central de la Surveillance de la Qualité de l'Air
- Ni : Nickel
- NO_x : Oxydes d'azote
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- ORECAN : Observatoire Régionale Energie-Climat-Air de Normandie
- PCDD/F : dibenzo-p-dioxines / polychlorodibenzo-furanes
- Pb : Plomb
- SO₂ : Dioxyde de soufre
- PM₁₀ : Particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10µm
- PM_{2,5} : Particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 2.5µm

1. Introduction

Le développement des chaufferies bois collectives constitue un enjeu fort pour l'atteinte des objectifs nationaux et régionaux de transition énergétique. C'est en même temps un sujet de préoccupation sociétal de plus en plus prégnant au regard de l'impact de la combustion du bois-énergie sur la dégradation de la qualité de l'air, en particulier sur la pollution d'origine particulaire. Pour accompagner le développement des chaufferies bois collectives, l'ADEME Normandie, l'ARS Normandie, ATMO Normandie, la Région Normandie, la DREAL et Biomasse Normandie ont convenu de travailler ensemble dans le cadre du projet Risachabois dont les objectifs ont été définis comme suit :

- Objectif 1 : caractériser les émissions des chaufferies bois collectives, mieux connaître les risques sanitaires et environnementaux associés et les impacts potentiels, notamment au voisinage des installations,
- Objectif 2 : développer un outil d'aide à la décision pour l'implantation de nouvelles chaufferies bois au regard des enjeux sanitaires et de qualité de l'air,
- Objectif 3 : alimenter les stratégies de développement des chaufferies et réseaux, notamment en ce qui concerne les dispositifs d'aide, en intégrant la problématique de la qualité de l'air et les enjeux sanitaires associés.

Ce rapport correspond la phase initiale du projet Risachabois. D'une part, il s'agit de faire un état des lieux des émissions et des risques sanitaires associés à la combustion de biomasse, et plus particulièrement au bois-énergie. D'autre part, dans le cas particulier des chaufferies bois, l'objectif est de décrire le cadre réglementaire et les spécificités liés à leur fonctionnement tout en faisant un bilan de leur impact environnemental.

2. Eléments nécessaires à la compréhension du document

2.1. Contexte

Le bois énergie présente plusieurs avantages. C'est une ressource locale abondante et peu émettrice de gaz à effet de serre, si on considère que le CO₂ émis pendant la combustion de biomasse est compensé par le CO₂ capté par la photosynthèse pendant la croissance des arbres. Avec cette hypothèse, on estime que le bois énergie émet 11 fois moins de CO₂ que le fioul, 4 fois moins que l'électricité et 5 fois moins que le gaz [1]. C'est également une source d'énergie bon marché et créatrice d'emplois locaux. Pour faire face aux enjeux climatiques, la France encourage depuis plusieurs années le développement de la filière bois-énergie.

En Normandie, le bois-énergie représentait en 2019 près de 57% de la production totale d'énergies renouvelables (soit 6.3 TWh) [2], incluant la production de chaleur et la production d'électricité par les cogénérations biomasse (6264 GW). C'est une source d'énergie qui est consommée principalement dans 4 secteurs d'activité : les secteurs résidentiel et tertiaire, l'industrie manufacturière et le secteur de l'extraction-transformation-distribution d'énergie. En Normandie, son utilisation est néanmoins majoritairement centrée sur le chauffage résidentiel individuel, environ 82% en 2019 selon l'inventaire ORECAN version 2.1.2. En 2019, l'ORECAN recensait par ailleurs 282 chaufferies collectives au bois pour une puissance installée de 239 MW et 47 chaufferies industrielles pour une puissance installée d'environ 363 MW.

Une cartographie interactive réalisée par Biomasse Normandie permet de localiser les chaufferies collectives et industrielles sur la région Normandie ainsi que leur puissance et le type de combustible utilisé. Elle est accessible à l'adresse : <https://www.biomasse-normandie.fr/nos-domaines-d'intervention-bois-energie-programme-bois-energie-en-normandie/>

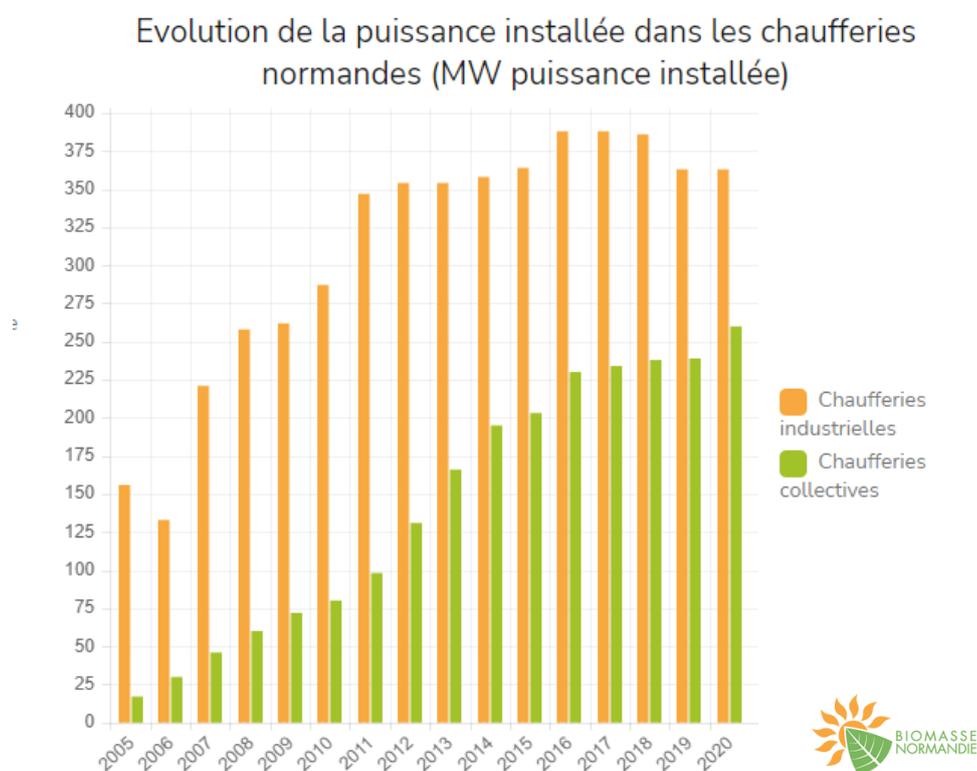


Figure 1 : Evolution de la puissance installée dans les chaufferies bois collectives et industrielles en Normandie, source Biomasse Normandie, <https://www.biomasse-normandie.fr/nos-domaines-d'intervention-bois-energie-programme-bois-energie-en-normandie/>

Mais le bois-énergie ne présente pas que des avantages. Tout d'abord, par rapport aux énergies d'origine fossile telles que le charbon, le fioul ou le gaz naturel, il a l'inconvénient d'avoir un contenu énergétique relativement faible. Il faut par exemple 2 à 6 kg de bois brut pour produire l'énergie équivalente à 1 kilogramme de fioul [3]. Ensuite, un sujet de préoccupation majeur de la combustion de biomasse est la dégradation de la qualité de l'air, aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur des logements dans certaines conditions [31,32], avec un impact parfois significatif sur la pollution d'origine particulaire en période hivernale.

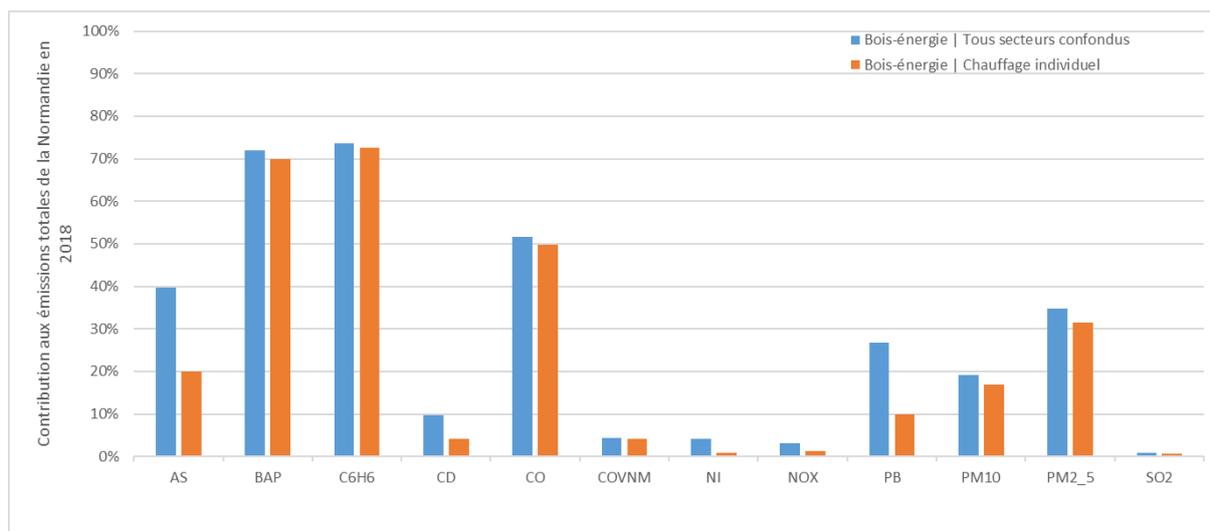


Figure 2 : contribution du chauffage individuel au bois dans les émissions du secteur résidentiel et dans les émissions totales tous secteurs confondus à l'échelle de la région Normandie en 2018 (source : Atmo Normandie – Inventaire version 3.2.7 – Format de rapportage SECTEN)

D'après les données de l'inventaire des émissions normand réalisé pour l'année 2018, la combustion de biomasse tous secteurs confondus contribuait aux émissions totales de la région à hauteur de 19% pour les PM₁₀ et 35% pour les PM_{2,5} (cf. figure 2), mais également à plus de 70% pour le benzo(a)pyrène et pour le benzène. L'impact du bois-énergie à la pollution atmosphérique reste un sujet 'complexe' qui nécessite de distinguer les différents types d'usage de cette source d'énergie.

En effet, les émissions liées au bois-énergie sont fonction des conditions de combustion et un feu de cheminée ouvert n'aura pas les mêmes teneurs d'émissions de polluants qu'un poêle à bois et encore moins qu'une chaudière biomasse collective disposant des meilleures techniques disponibles en termes de traitement des fumées. Comme l'indique la figure 2, le chauffage individuel au bois (secteur 'résidentiel'), avec en particulier l'utilisation majoritairement d'équipements anciens de types foyers ouverts ou foyers fermés/inserts, est responsable d'une très large partie des émissions attribuées au bois-énergie. A l'inverse, les émissions imputables au chauffage collectif (secteur 'résidentiel') et au chauffage urbain (secteur 'transformation de l'énergie') utilisant le bois-énergie étaient quasiment négligeables en 2018 à l'échelle de la région avec des contributions inférieures à 1% pour une majeure partie des polluants (PM₁₀, PM_{2,5}, NOX, CO, COVNM, benzène, benzo(a)pyrène).

Si les émissions des chaufferies collectives et industrielles sont faibles à l'échelle de la Normandie, il n'en reste pas moins que leur impact local sur la qualité l'air doit être pris en compte conformément aux engagements nationaux d'amélioration de la qualité de l'air. Leur développement dans le cadre d'une politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre ne peut se faire que dans le cadre d'une analyse coût/bénéfice incluant le risque sanitaire.

2.2. Objectifs et approche choisie

Afin de répondre aux questions posées en préambule du projet Risachabois, Atmo Normandie a effectué une analyse bibliographique sur la combustion de biomasse au sens large et sur les chaufferies bois en particulier. Les impacts sur la qualité de l'air et les risques sanitaires associés à la combustion de biomasse sont des sujets qui ont fait l'objet de nombreuses publications générales ou scientifiques. De même, une documentation abondante a pu être trouvée sur les chaufferies bois auprès d'organismes comme l'ADEME ou auprès d'autres AASQA. Nombre d'entre elles ont en effet été sollicitées dans différentes régions françaises pour réaliser des études d'impact ou des campagnes de mesure de qualité de l'air autour de ce type d'installation.

Une réunion de restitution et d'échange a été réalisée le 17 juin 2020 avec les différents partenaires du projet (Biomasse Normandie, ADEME, DREAL, ARS). Cette réunion a permis de valider le travail effectué dans le cadre de ce rapport.

3. La combustion de biomasse– quels polluants ? quels impacts sanitaires ?

3.1. Les émissions de polluants,

3.1.1. Généralités sur la combustion de biomasse

La combustion du bois engendre l'émission d'une multitude de composés gazeux et particulaires. La nature de ces composés et les quantités émises vont néanmoins dépendre de nombreux facteurs comme l'essence du bois, sa teneur en eau, la température du foyer ou encore l'apport d'oxygène. Ainsi, les émissions associées à une chaufferie bois collective de plusieurs Mégawatts équipée des meilleures technologies disponibles pour le traitement des fumées, seront de fait très différentes de celles liées à un feu de cheminée 'ouvert' domestique. Néanmoins, la composition du bois et le processus de combustion permettent d'expliquer certaines spécificités communes aux émissions de biomasse quel que soit le type de foyer.

3.1.1.1. La composition du bois

Le bois est constitué pour majeure partie de matière organique sous forme de cellulose (env. 50%), de lignine (de 20 à 30% env.) et d'hémicellulose (15 à 25%), ainsi que d'une très faible quantité d'éléments minéraux (<1%). [3]. Si la composition précise dépend de l'essence du bois, en moyenne il est généralement admis les proportions suivantes pour le bois sec : Carbone (49.8%), Hydrogène (6.2%), Oxygène (43.1%), Azote (0.2%) et éléments minéraux (0.7%) parmi lesquels le calcium, le potassium ou le magnésium [4]. Le bois peut également contenir des composés soufrés (0.02%), du chlore (0.001 à 0.03%) et des traces de composés métalliques tels que le cuivre, le manganèse et le zinc à des teneurs inférieures à 0.01%. [3]. Il ne faut pas oublier de citer la présence d'eau avec un taux d'humidité qui peut varier de 10% à 20% pour le bois séché à l'air à 60% environ pour le bois vert sur pied [3].

3.1.1.2. Le processus de combustion

Le processus de combustion du bois comporte schématiquement trois phases qui se succèdent en fonction de la montée en température du foyer [3]. Durant la première phase (phase d'allumage), l'eau présente dans le bois se vaporise. Pour brûler la matière organique doit en effet se libérer de l'eau présente dans sa structure. Ce processus endothermique de vaporisation va contribuer à maintenir la température du foyer à des niveaux relativement bas, ce qui va ralentir et dégrader la qualité de combustion en favorisant l'émission d'imbrûlés.

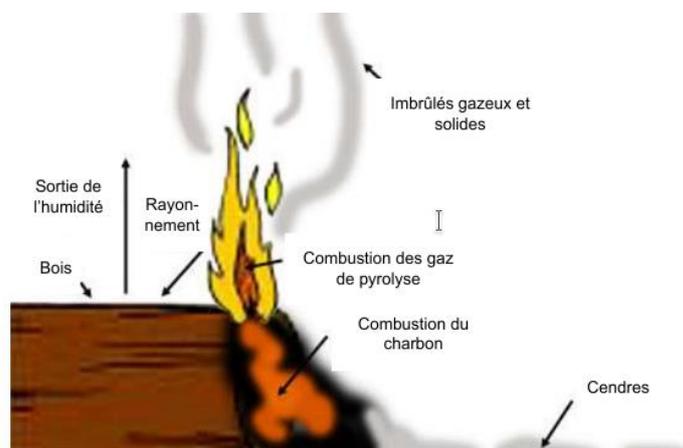


Figure 3: description des différentes étapes de la combustion d'une bûche (extrait de [5])

Au fur et à mesure de la montée en température, entre 200 et 600°C environ, des réactions de pyrolyse interviennent dans la masse du bois et vont décomposer la matière organique en la transformant progressivement en résidu charbonneux tout en libérant une large variété de composés gazeux. Entre 300°C et 350°C environ, certains gaz combustibles réagissent avec l'oxygène de l'air et s'enflamment. C'est la seconde phase, dite phase de combustion homogène ou vive, qui va voir environ 80% de la matière organique constituant le bois brûlé en phase gazeuse. Cette phase d'inflammation chevauche en partie la dernière phase au cours de laquelle les 20% restants de matière charbonneuse disparaissent par oxydation directe avec le dioxygène de l'air. Il s'agit d'un processus lent de combustion hétérogène, qui se manifeste par un rougeoiement (incandescence) du résidu charbonneux.

Dans les faits, la combustion du bois est un processus complexe qui va être influencé par de nombreux paramètres. Si les conditions de mise en œuvre du foyer (excès d'air, état divisé du combustible, faible humidité, etc..) sont parfaitement maîtrisées, alors on tendra vers la combustion dite 'complète' du bois, cas idéal où tout le combustible sera 'brulé' sous forme de CO_2 et de vapeur d'eau, avec également le rejet de O_2 et de N_2 initialement présent dans l'air introduit dans le foyer. A cela s'ajoutera également inévitablement l'émission d'oxydes d'azote (NO_x), résultant de l'oxydation des composés azotés (amines et protéines) contenus dans le bois, et de particules fines minérales liées à la présence initiale des éléments minéraux [3].

La combustion du bois est cependant dans les faits toujours plus ou moins incomplète, ce qui se traduit par l'émission de composés 'imbrûlés' comme du monoxyde de carbone (CO), des composés organiques volatils (COV), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des dioxines et des furanes [3]. Ces composés sont émis sous forme de gaz et/ou pour certains sous forme particulaire. A noter que même dans le cas d'une combustion incomplète du bois, les fumées sont composées à 99% en volume de CO_2 , H_2O , N_2 et O_2 [4].

Concernant le cas particulier des particules, des aérosols primaires sont émis directement par le foyer de combustion. Ils sont caractérisés par une fraction dite solide et une autre dite condensable car formée à partir de composés semi-volatils (COSV) qui, initialement émis sous forme de gaz, ont la propriété de se transformer en aérosols liquides ou solides. Ces composés vont participer activement aux mécanismes de transformation de l'aérosol primaire et seront également pour certains, les plus réactifs, à l'origine de la formation dans l'atmosphère d'aérosols secondaires. Ces mécanismes de transformation susceptibles d'affecter les aérosols primaires et secondaires sont encore assez mal connus et il est aujourd'hui difficile d'établir une relation précise entre les niveaux de concentration des particules primaires mesurées à l'émission d'un foyer de combustion et les niveaux de concentrations en particules effectivement mesurés dans l'air ambiant [6].

3.1.1.3. Les marqueurs gazeux

Les principaux gaz émis lors de la combustion du bois, comme le CO₂, le CO ou les NO_x sont des marqueurs de combustion au sens large que l'on va retrouver quel que soit le combustible brûlé. Pour trouver des composés plus spécifiques à la combustion de biomasse, il faut regarder dans la famille des COV émis pendant la pyrolyse du bois. Ainsi des composés comme le phénol, le méthanol, l'acétonitrile et le benzène sont souvent cités comme marqueurs [6,7,8]. De même la présence d'alcane linéaires (C10-C40) [9] et du naphthalène, HAP majoritairement émis sous forme gazeuse, peut être également reliée à des émissions de combustion du bois [8]. Encore plus spécifiques à la combustion de biomasse mais souvent détectés en très faibles quantités, les méthoxyphénols représentent une large famille de composés (guaïcol, syringol, ...) issus de la décomposition de la lignine, qui sont émis à la fois sous forme gazeuse et particulaires [10]. Enfin, des gaz acides comme le HF, le HCl ou le SO₂ liés à la présence en faible quantité de F, Cl et de S dans le bois sont également des composés qui vont pouvoir être détectés sous les vents d'une installation de combustion de biomasse, sans pouvoir être considérés là aussi comme des traceurs univoques. [8,11]

3.1.1.4. Les marqueurs particulaires

Des particules primaires sont émises directement par le foyer de combustion, et des particules secondaires sont formées dans l'atmosphère à partir de précurseurs gazeux, composés organiques volatils et semi-volatils, émis pendant le processus de combustion [6]

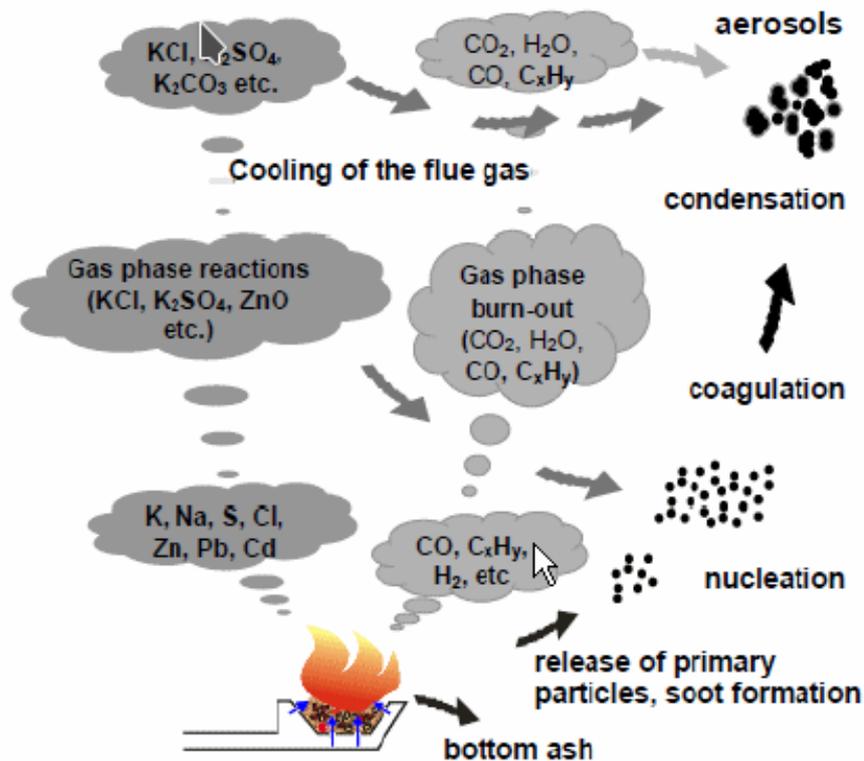


Figure 4: processus de formation des particules à partir de combustion du bois (extrait de [6])

Marqueurs des particules primaires :

Les particules primaires sont constituées d'une fraction carbonée composée de matière organique (OC) et de carbone élémentaire (EC), d'une fractions inorganique et d'éléments traces métalliques.

La fraction inorganique :

La fraction inorganique ne représente que 1 à 6 % de la masse des particules émises [5] et est directement influencée par la composition du bois. Elle est constituée essentiellement de matières minérales et de sels (KCl, K₃Na(SO₄)₂, K₂SO₄, etc.) avec une présence dominante de l'élément potassium qui est considéré comme un traceur typique de la combustion de biomasse [6], tout comme le manganèse, le zinc et le cuivre pour les éléments traces métalliques [5].

Le carbone élémentaire :

Les particules de carbone suie, appelées également selon les études carbone élémentaire (EC) ou black carbon (BC), sont issues de la désagrégation de particules de bois complètement oxydées dans la chambre de combustion. Le carbone suie représente une part assez faible des émissions de combustion de biomasse, typiquement entre 5 et 15% [10, 12]. Atmo Normandie dispose d'analyseurs automatiques du black carbon en continu sur les agglomérations de Rouen et du Havre. Ce sont des aethalomètre multi-longueurs d'onde qui permettent de distinguer le carbone élémentaire émis par la combustion de biomasse et par la combustion d'énergies fossiles. Ces mesures permettent de quantifier en temps réel la contribution de la combustion de la biomasse dans la fraction particulaire lors d'épisodes de pollution par exemple.

La Figure 5 ci-dessous met en évidence la contribution significative des émissions de particules liées à la combustion de la biomasse (en marron) lors d'un épisode de pollution hivernal au PM10 sur le Havre du 16 au 23 janvier 2017. Tous les jours sur cette période de grand froid nocturne (T° minimale de -6°C), des pics de cet indicateur sont observés entre 18h et 21h qui mettent en évidence l'utilisation par les particuliers de leur système de chauffage au bois en appoint pour compléter leur système de chauffage principal.

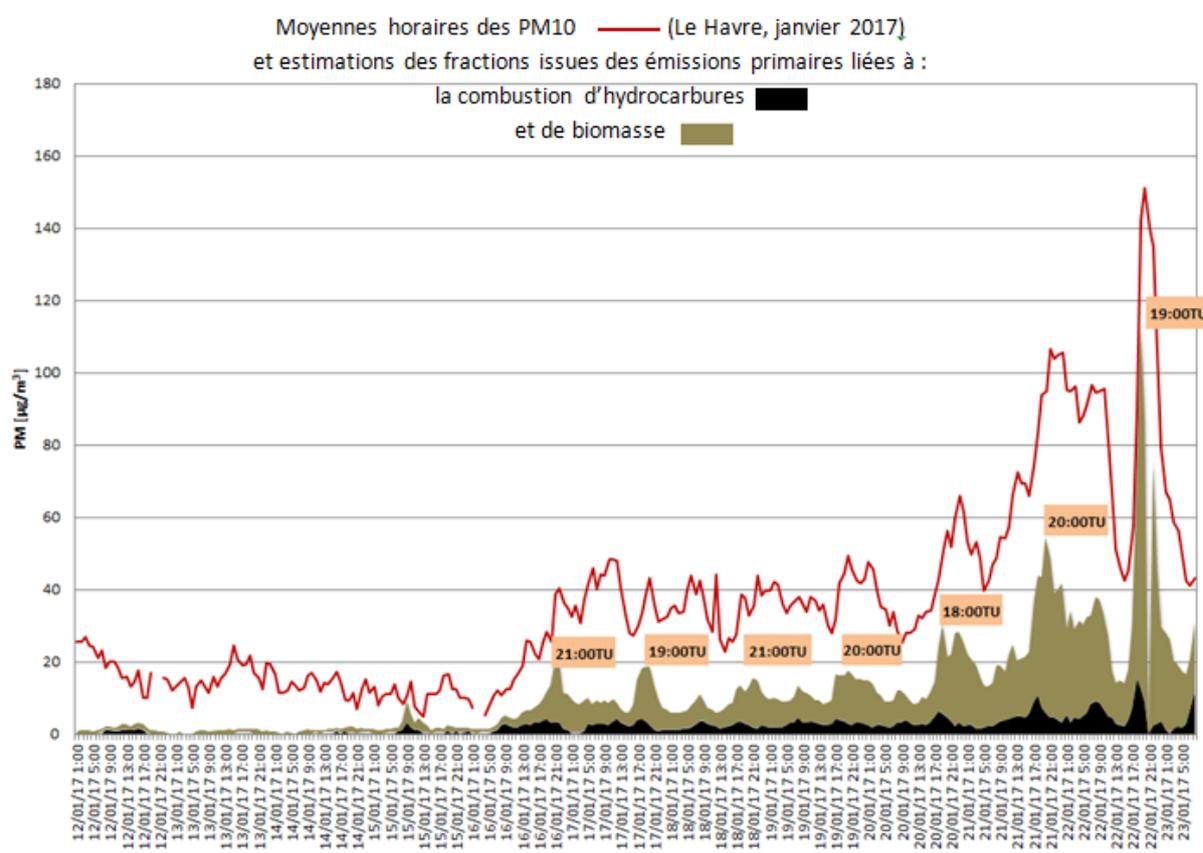


Figure 5: estimation des fractions des émissions primaires issues de la combustion biomasse et d'hydrocarbures lors d'un épisode de pollution particulaire au Havre en janvier 2017 [Atmo Normandie]

Le carbone organique :

La carbone organique (OC) est formée à partir des composés organiques volatils et semi-volatils libérés lors de la décomposition du bois, au fur et à mesure de la montée en température du foyer. Par une suite de mécanismes complexes de nucléation, de coagulation et de condensation, ces composés organiques vont s'agglomérer avec les particules solides préexistantes constituée de carbone suie et de matières minérales (cf. figure 4). Parmi les composés contribuant à la fraction organique des particules primaires figurent des traceurs de la dégradation thermique du bois, comme le lévoglucosan et ses isomères (mannosan, galactosan). Issus de la décomposition de la cellulose et de l'hémicellulose, le lévoglucosan est souvent cité comme le traceur univoque de la combustion de biomasse en raison de son abondance et de sa stabilité dans l'atmosphère [10]. Des études ont cependant montré qu'il avait une certaine réactivité dans l'atmosphère pouvant conduire à une diminution de 20 à 90% de sa concentration sur une échelle de temps comparable à celle observée pour le transport et le

dépôt des aérosols [10]. A noter également que la formation de lévoglucosan dépend de la température de combustion et qu'il se décompose à très hautes températures ($>600^{\circ}\text{C}$) [10] avec pour conséquence des facteurs d'émission qui dépendent non seulement du type de foyer mais aussi de la phase du processus de combustion. Les méthoxyphénols issus de la décomposition de la lignine et également émis sous forme gazeuse sont d'autres traceurs typiques de la combustion de biomasse mais présents dans la fraction organique en très faibles quantités comparés au lévoglucosan [10]. De même, la présence d'HAP est une constante des processus de combustion incomplète au sens large. Le profil des HAP en présence peut néanmoins permettre de distinguer les types de combustion. Une prédominance de HAP à faible poids moléculaire indique la prédominance de la source combustion de biomasse [7]. Enfin, il faut citer la présence de dioxines et furanes, composés formés à partir du chlore contenu dans le bois.

A noter que la fraction organique de l'aérosol peut représenter jusqu'à 50% en masse des PM10 en période hivernale du fait des émissions liées à la combustion de biomasse avec notamment des concentrations importantes en Lévoglucosan et en HAP [13].

Autres marqueurs

Parmi le faisceau d'indices qui peut permettre d'identifier les particules émises par la combustion de biomasse, le ratio (en masse) du carbone élémentaire sur le carbone organique (EC/OC) est souvent utilisé. Pour la combustion de biomasse, le ratio EC/OC est ainsi typiquement inférieur à 1 quand une valeur de 1.9 est donnée comme caractéristique des émissions du trafic routier [7].

Concernant la taille des particules émises par la combustion de biomasse, la distribution granulométrique est dépendante des conditions de combustion et du type de combustible utilisé [11]. Elle est par ailleurs susceptible d'évoluer en fonction des mécanismes de transformation de l'aérosol dans l'atmosphère. Dans le secteur de la combustion domestique du bois, il a été montré que 90 à 95% des particules émises sont mesurées dans la fraction PM2.5 avec notamment un pic de distribution de taille se situant entre 0,15 et 0,4 μm [6]. Ce pic peut être attribué à la présence des particules de carbone suie, une des composantes des particules primaires, qui ont des tailles comprises entre quelques dizaines et quelques centaines de nanomètres [6]

Pour ce qui est des aérosols secondaires, la présence de méthyl-nitrocatechols est associée à la combustion de biomasse [6]

3.1.2. Des spécificités selon le type de combustion de biomasse

S'il existe bien des marqueurs de la combustion de biomasse, gazeux et particulaires, il est toutefois compliqué de remonter facilement à la signature de cette source à partir d'analyses dans l'air ambiant. Non seulement certains de ces marqueurs ne sont pas spécifiques à la seule source combustion de biomasse, mais des différences parfois importantes sont observées dans la répartition de ces marqueurs selon le type de foyer ou de combustible brûlé. La figure 5 illustre très bien cette problématique.

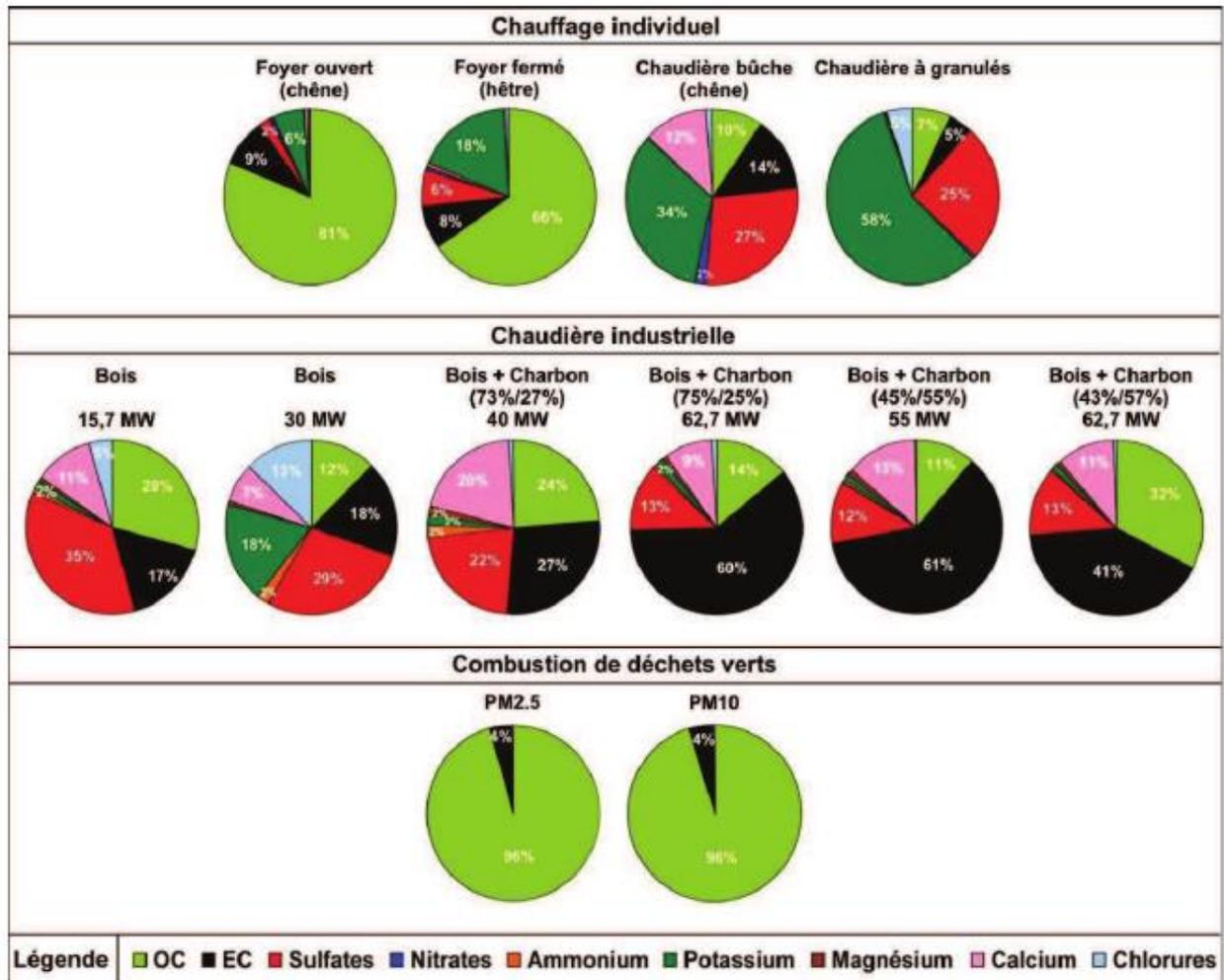


Figure 6: profils chimiques des espèces majeures pour différents types de combustion de biomasse (en proportions relatives) [extrait de 10]

Cette figure est extraite du travail de thèse de C. Piot [10] qui a analysé les résultats d'une étude financée par la région Rhône Alpes¹ ayant porté sur la caractérisation des émissions de différents types de combustion de biomasse, parmi lesquelles les émissions d'appareils de chauffage domestique au bois-énergie et celles de combustion de déchets verts à l'air libre. Les émissions d'une chaufferie industrielle alimentant un réseau collectif de chauffage urbain ont également été étudiées à différentes puissances de fonctionnement, avec du combustible bois, charbon ou un mixte des deux. Sur la figure 5, on observe par exemple que la part de la fraction organique des particules (OC) est majoritaire dans le cas d'une combustion de bois bûche en foyers ouvert et fermé, alors qu'elle ne représente que 12% en masse dans le cas de la chaudière industrielle fonctionnant à pleine puissance avec du bois. Ces différences de signature compliquent donc la tâche pour identifier la contribution de la source combustion de biomasse, mais elles sont aussi une opportunité pour distinguer les types de combustion, en tout cas au niveau des mesures à l'émission. C'est ce qu'a montré C. Piot dans son travail de thèse. Tout en prenant en compte les possibles biais dus à des conditions de prélèvement différentes selon le type de combustion étudié, l'auteur a extrait un certain nombre d'indicateurs permettant

¹ Programme de connaissance de l'origine des émissions dues à la combustion de la biomasse sur le secteur grenoblois, LGGE-LCME-ASCOPARG-AGEDEN-LERMAB, 2008

d'identifier un type de combustion de biomasse. Ces indicateurs reposent pour la plupart sur l'utilisation de ratios spécifiques entre les concentrations de divers composés. C'est une méthode simple à mettre en œuvre, mais qui pour être transposée à des mesures réalisées dans l'air ambiant nécessite de considérer l'hypothèse que les ratios n'évoluent pas entre la source d'émission et le site de mesure, ce qui n'est pas toujours vérifié. Par ailleurs, il faut aussi considérer le fait que des mesures effectuées dans l'air ambiant intègrent une multitude de source qui peuvent aboutir à 'noyer' la signature d'une source particulière.

Ratio EC/OC

Evoqué précédemment, le rapport EC/OC est souvent utilisé pour distinguer les sources de combustion et une valeur inférieure à 1 est typiquement associée à la combustion de biomasse. D'après les différentes études compilées par C. Piot, le ratio EC/OC est inférieur à 0.2 pour la combustion en foyer ouvert et encore plus faible (de 0.04 à 0.10) pour la combustion de déchets verts. Il est plus élevé, entre 0.6 et 1.4, pour les combustions de bois (bûches ou granulés) en chaudière domestique ou industrielle.

Ratios OC/Lévoglucosan et Lévoglucosan/Mannosan

| Type de combustion | | OC/Lévo | Lévo/Manno |
|--------------------------------|--|----------------|-------------------|
| Chauffage individuel | Foyer ouvert (chêne) | 37.46 | 23.61 |
| | Foyer fermé (hêtre) | 37.59 | 28.13 |
| | Chaudière bûche (chêne) | 49.40 | 46.00 |
| | Chaudière à granulés | 90.11 | 52.86 |
| Chaufferie industrielle | Bois | 1313.13 | 123.08 |
| | Bois-charbon | 1745.76 | 211.61 |
| Air libre | Combustion de déchets verts | 24.95 | 18.65 |
| Littérature | Foyer (hêtre) (Fine et al., 2002) | 7.38 | 15.18 |
| | Foyer (épicéa) (Fine et al., 2002) | 7.04 | 3.94 |
| | Combustion de feuilles (Schmidl et al., 2008a) | 27.49 | 5.54 |

Tableau 1: ratios OC/Lévo et Lévo/Manno pour différents types de combustion (extrait de [10])

C. Piot s'est intéressée aux rapports Lévo/Man (concentration de lévoglucosan sur concentration de mannosan) et OC/Lévo (concentration de matière organique sur concentration de lévoglucosan). Elle a ainsi montré que les émissions de la chaufferie industrielle se démarquaient nettement avec des valeurs OC/Levo et Lévo/Manno beaucoup plus élevées que celles obtenues pour les émissions domestiques (foyer ouvert ou fermé et chaudière). Pour la chaufferie industrielle, des concentrations très faibles ont été mesurées pour les traceurs spécifiques comme le lévoglucosan ou les hydrocarbures (HAP, Alcanes). D'après l'auteur, ces faibles niveaux de concentration peuvent soit résulter d'émissions effectivement faibles (la température des foyers est peut-être trop élevée et limite la formation de ces molécules), soit être expliqués par les conditions des prélèvements qui ont été réalisés selon les normes en vigueur en aval des dispositifs d'épuration des rejets.

Profil des HAP présents en phase particulaire

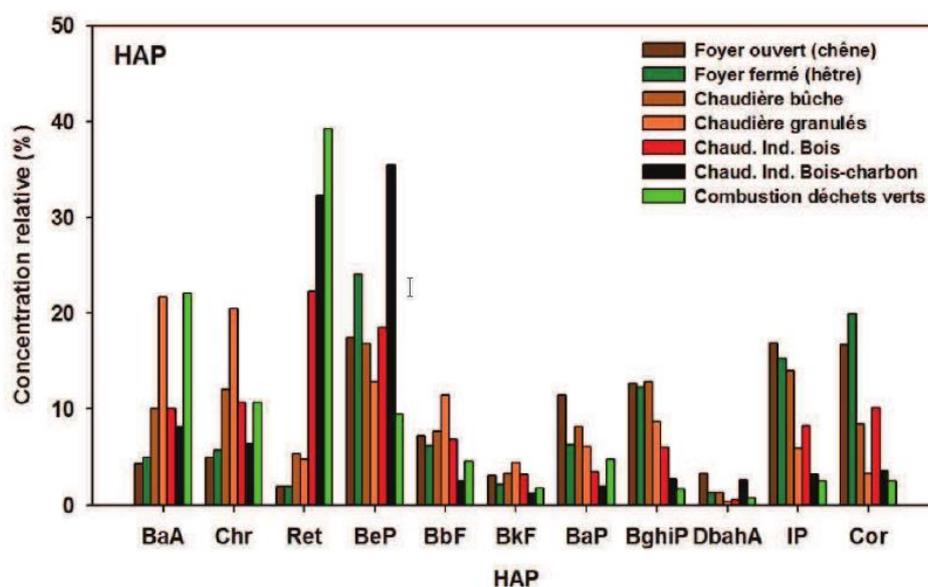


Figure 7 : profils des HAP pour différents types de combustion (extrait de [10])

Dans le cadre de son étude, C. Piot a également analysé les concentrations de 11 HAP² choisis en raison de leur faible volatilité et de leur existence dans la phase particulaire. L'auteur rapporte une grande variabilité des signatures de HAP suivant le type de combustion et une prédominance du Benzo(e)pyrène (BeP) et du Rétène (Ret) pour les combustions en chaudière industrielle et de déchets verts. Dans le cas de la combustion de déchets verts, la contribution du Ret représente 40% de la somme des HAP étudiés, pour seulement 10% pour le BeP. A l'opposé, les combustions de bois (bûches ou granulés) pour le chauffage individuel se caractérisent par des émissions de Ret très faibles (<6%) alors que le BeP contribue majoritairement à la concentration des 11HAP (de 13 à 24%). Dans le cas de la chaudière industrielle avec une combustion bois ou une combustion mixte bois-charbon, ces deux composés sont émis dans des proportions identiques, tout en dominant la signature chimique des HAP.

| Type de combustion | | Ret/BeP |
|---------------------------|----------------------------------|----------------|
| Chauffage individuel | Foyer ouvert (chêne) | 0.11 |
| | Foyer fermé (hêtre) | 0.08 |
| | Chaudière bûche | 0.32 |
| | Chaudière granulés | 0.37 |
| Chaufferie industrielle | Bois | 1.21 |
| | Bois-charbon | 1.84 |
| Air libre | Combustion déchets verts | 4.02 |
| Littérature | Foyer-hêtre (Fine et al., 2004) | Ret < LD |
| | Foyer-épicéa (Fine et al., 2004) | 1.17 |

Tableau 2 : ratios Rétène/Benzo(e)pyrène pour différents types de combustion (extrait de [10])

² Benzo[a]anthracène (BaA), Chrysène (CHR), Benzo[e]pyrène (BeP), Benzo[b]fluoranthène (BbF), Benzo[k]fluoranthène (BkF), Benzo[a]pyrène (BaP), Benzo[ghi]pérylène (BghiP), Dibenz[a,h]anthracène (DBahA), Indéno[1,2,3-cd]pyrène (IP), Coronène (COR) et le Retene (RET).

3.2. Les effets sanitaires associés à la combustion de biomasse

Isoler l'impact sanitaire de la combustion de biomasse spécifiquement n'est pas une tâche facile quand cette source, qui émet une large variété de polluants gazeux et particulaires, vient s'ajouter à une multitude d'autres sources contribuant à dégrader la qualité de l'air. Et considérer les effets des produits de combustions pris individuellement ne serait pas pertinent car il ne permet pas de rendre compte des risques liés à l'effet 'cocktail' auxquels les populations peuvent être exposées [14].

3.2.1. Généralités

Bon nombre de ces polluants émis par la combustion de biomasse ont des effets sanitaires avérés (cf. tableau 3). Pour la plupart ces polluants sont également émis par d'autres sources (trafic routier, activités industrielles), et il est difficile par exemple de distinguer le CO ou les NOx émis par la combustion de biomasse, des émissions d'autres secteurs. Les effets sanitaires produits sont les mêmes et, en ce sens, la combustion de biomasse participe aux effets de la pollution atmosphérique à hauteur de sa contribution par rapport aux niveaux ambiants [14]. Pour les particules, le constat est toutefois légèrement différent et la tendance est aujourd'hui de les considérer comme un bon indicateur du risque sanitaire lié à cette source spécifiquement [19]. Des études épidémiologiques et toxicologiques ont en effet montré que la masse des particules (PM2,5 et PM10) comprend des fractions (EC, OC, inorganique) avec différents types et degrés d'effets sur la santé, suggérant un rôle à la fois de la composition chimique et des propriétés physiques (taille, nombre et surface des particules). La nature des particules, qui intègre la signature de diverses sources et des mécanismes de transformation dans l'atmosphère, influe donc sur leur caractère nocif [15].

| Polluants | Principaux mécanismes d'action |
|---|---|
| Particules fines | Inflammation, stress oxydatif, allergénique |
| Monoxyde de carbone | Asphyxiant |
| Dioxydes d'azote | Irritant, Inflammation, stress oxydatif |
| Organochlorés (dioxines, furanes...) | Atteinte du système nerveux central, cancérigène probable |
| HAP (benzo-(a)-pyrène, aldéhydes, phénols...) | Cancérigènes puissants, neurotoxiques |
| COV (benzène, formaldéhydes, acroléine...) | Irritants, cancérigènes, mutagènes, stress oxydatif |

Tableau 3 : principaux polluants émis par la combustion de biomasse (extrait de [14])

3.2.2. Des effets spécifiques selon la nature de la pollution particulaire

Les particules dans leur ensemble (PM10, PM2.5) et sans distinction de sources sont déclarées comme cancérigènes pour l'homme depuis 2013 par le CIRC [15]. Des effets cardiovasculaires et respiratoires sont mis en évidence pour des expositions à court et à long termes depuis plusieurs décennies. Des effets ont été plus récemment mis en évidence concernant d'autres organes cibles comme par exemple le cerveau et certaines fonctions comme la reproduction. Dans un rapport publié en 2019, l'ANSES a effectué une revue bibliographique des effets sanitaires documentés comme associés aux particules en suspension dans l'air ambiant extérieur selon leur composition et leur source [15]. Cette revue s'appuie sur une démarche d'évaluation du poids des preuves publiées dans la littérature scientifique jusqu'en février 2016 avec comme point de départ la publication en 2013 par l'OMS de la revue de consensus REVIHAAP (review of evidence on health aspects of air pollution).

L'analyse effectuée a permis à l'ANSES de conclure à un niveau d'indication d'effet sanitaire, à savoir si l'association observée entre un composé (ou une source) donné des particules de l'air ambiant et une catégorie sanitaire d'intérêt (par exemple la « santé cardiovasculaire »), est fortement, ou modérément, ou encore faiblement plausible. Il peut aussi être conclu qu'un composé n'a pas d'effet sur la santé, ou bien encore que les éléments disponibles dans la littérature sont inadéquats pour permettre de conclure. Le tableau 4 récapitule les principales indications d'effet sanitaire par composant des particules telles que publiées dans le rapport ANSES.

| Composant des particules | Principaux niveaux d'indication d'association avec une catégorie sanitaire |
|------------------------------------|---|
| Particules ultrafines (<100 nm) | Indication « modérée » sur la santé cardiovasculaire |
| Particules grossières (PM2,5-PM10) | Indication « modérée » sur la santé respiratoire et la mortalité toutes causes Les concentrations de particules grossières sont calculées en soustrayant les PM2,5 mesurées des PM10 mesurées |
| Carbone élémentaire (EC) | Indication « forte » sur la santé respiratoire, la santé cardiovasculaire, les hospitalisations toutes causes et la mortalité toutes causes |
| Carbone organique (OC) | Indication « forte » sur : la santé respiratoire, la santé cardiovasculaire, les hospitalisations toutes causes |
| HAP | Indication « faible » sur la santé respiratoire De plus, il existe une large littérature, non prise en compte dans l'étude de l'ANSES sur la nocivité de certains HAP comme le benzo(a)pyrène (exposition classée cancérigène par le CIRC). |
| Sulfate | Indication « forte » sur la santé respiratoire |
| Nitrate | Indication « forte » sur la santé cardiovasculaire, les hospitalisations toutes causes |
| Ammonium | Indication « faible » sur la santé respiratoire, la santé cardiovasculaire, la mortalité toutes causes |
| Nickel | Indication « forte » sur la santé respiratoire |
| Cuivre | Indication « faible » sur la santé cardiovasculaire |
| Zinc | Indication « modérée » sur la santé cardiovasculaire |
| Vanadium | Indication « forte » sur la santé cardiovasculaire |
| Fer | Indication « forte » sur la santé cardiovasculaire |

Tableau 4 : principales indications d'effet sanitaire par composant des particules [15]

Certaines propriétés des particules primaires émises par les foyers de combustion de biomasse sont associées à des effets sanitaires spécifiques. En particulier, la présence de carbone élémentaire pour lequel des études indiquent un effet propre ainsi qu'un risque plus marqué comparés à celui des PM2.5 [14].

Le carbone élémentaire n'est pas considéré comme un agent causal direct mais il agirait plutôt comme vecteur universel d'une large gamme de composés toxiques issues de la fraction organique (HAP, dioxines/furanes, ...) qui s'adsorbent facilement à sa surface [15]. Ces composés organiques sont moins nombreux pour les combustions de sources fossiles [7]. Par ailleurs le potassium, traceur de la combustion de biomasse est également à l'origine d'effets sanitaires avérés qui peuvent contribuer à souligner l'impact sanitaire spécifique de la combustion de biomasse [15]. Enfin, la taille des particules émises par la combustion de biomasse va également contribuer à un risque sanitaire spécifique. Une large proportion intègre en effet la fraction 'respirable' (PM2.5 - PM0.1) susceptible de pénétrer au plus profond de l'arbre bronchique et ainsi d'exercer des effets toxiques.

Une étude franco-suisse publiée dans la revue Nature en 2020 [30], a cherché à étudier « quelles sont les particules fines les plus dangereuses pour la santé ». Il en ressort que ce n'est pas la quantité de poussières fines, à elle seule, qui représente le plus grand risque pour la santé. Il se pourrait que ce soit surtout ce qu'on appelle leur potentiel oxydatif qui rend les particules fines si nocives. Le potentiel oxydatif des particules fines désigne leur capacité à dégrader des antioxydants, ce qui peut endommager les cellules et les tissus de l'organisme. Il a la capacité d'enclencher des réactions inflammatoires au sein de l'organisme, phénomène à l'origine de maladies cardiovasculaires et pulmonaires, qui varie en fonction de la source d'émission. Parmi les particules les plus oxydantes, l'étude évoque les aérosols organiques secondaires anthropiques, qui proviennent surtout des chauffages au bois, et par des émissions de métal issues de l'abrasion des freins et des pneus dans la circulation routière. Les chercheurs ont découvert en outre que la population qui vit en zone urbaine n'est pas exposée à de plus importantes quantités de particules fines, mais que dans ces régions, les poussières fines ont un potentiel oxydatif plus élevé et sont donc plus nocives pour la santé que les particules fines en zone rurale.

3.2.3. Bilan

Globalement, concernant la combustion de biomasse en général, l'ANSES conclut qu'il n'y a pas de raison de la considérer comme moins dangereuse que d'autres sources urbaines, notamment le trafic. La combustion de biomasse participe aux effets de la pollution atmosphérique à hauteur de sa contribution aux niveaux ambiants, et évaluer le risque sanitaire associé spécifiquement à cette source est difficile à partir de mesures dans l'air ambiant. Il y a bien quelques traceurs de la combustion de biomasse, notamment des polluants particuliers, pour lesquels des risques sanitaires sont documentés mais la difficulté est qu'il n'existe peu ou pas de valeurs toxicologiques de référence ou de valeurs guides permettant de juger du niveau de risque associé à une exposition. Il n'y a par exemple aucune valeur de référence sanitaire disponible à ce jour pour évaluer le risque d'une exposition au carbone suie ou au potassium, deux marqueurs de la combustion de biomasse.

4. Cas des chaufferies bois

4.1. La réglementation en vigueur

D'une manière générale, les installations de combustion pour la production de chaleur et/ou d'électricité peuvent être scindées en deux catégories, celles qui entrent dans le champ des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et les autres [14]. Ce classement est principalement basé sur la puissance de l'installation. Pour les moins puissantes ($P < 0.1$ MW), il n'y a pas de réglementation spécifique mais un cadre imposé par le règlement sanitaire départemental (RSD) et les décrets et arrêté de 2009 relatifs à l'entretien annuel et au contrôle des chaudières [16]. Pour les installations de puissance comprise entre 1 MW (inclus) et 50MW (exclu), est entrée en vigueur une nouvelle réglementation ICPE depuis le 20 décembre 2018. Issue de la directive européenne MCP (« Medium Combustion Plan ») transposée par le décret du 03 août 2018, cette nouvelle réglementation a modifié le cadre réglementaire en vigueur depuis 2013 avec une refonte de la nomenclature pour les installations de combustion (rubriques 2910 et 3110).

| Rubrique | | Puissance (MW) | | | |
|----------|--|------------------|-----------------|------------------|-------------|
| | | $0.1 \leq P < 1$ | $1 \leq P < 20$ | $20 \leq P < 50$ | $50 \leq P$ |
| 2910-A | Combustibles fossiles conventionnels (fioul, charbon...) | | | | |
| | Biomasse (produits agricoles et forestiers, déchets de biomasse sortis du statut de déchet) | NC | DC | E | NC |
| | Biogaz provenant d'installations 2781-1 | | | | |
| 2910-B | B1 Biomasse (autres déchets) Biogaz issu d'installations 2781-2 ou d'une installation de stockage de déchets non dangereux Déchets sortis du statut de déchets (SSD) | NC | E | E | NC |
| | B2 Autres combustibles | A | A | A | NC |
| 3110 | Tous combustibles | NC | NC | NC | A |

Tableau 5 : nomenclature ICPE pour les installations de combustion dépendantes des rubriques 2910 et 3110. NC : non concerné par la rubrique ; DC : déclaration avec contrôle ; E : enregistrement ; A : autorisation.

Comme indiqué dans le tableau 5, trois régimes de classement (déclaration avec contrôle, enregistrement et autorisation) sont prévus selon la puissance de l'installation et la nature du combustible utilisé. Pour ce qui est de la biomasse dite 'propre' (bois d'emballage,) le seuil de classement (déclaration) est abaissé à 1MW contre 2MW auparavant. Ce changement de statut administratif aurait impacté environ 800 installations au niveau national, installations qui ne dépendaient pas jusque-là de la réglementation ICPE [17]. Les installations de puissance thermique > 50 MW sont soumises à autorisation et dépendent de la rubrique 3110 des ICPE liée à la transposition de la directive européenne 2010/75 dite IED (« Industrial Emissions Directive »).

A l'échelle nationale, la nouvelle réglementation ICPE en vigueur depuis fin 2018 s'applique à 10-15% des installations collectives et industrielles utilisant la biomasse et représentant 90% de l'énergie produite par ce type de chaufferies [16].

Globalement la nouvelle réglementation ICPE en vigueur pour les installations de combustion est plus contraignante. Concernant les rejets dans l'air, pour chaque régime administratif, des arrêtés ministériels définissent des valeurs limites d'émission (VLE) à respecter ainsi que les modalités de contrôle des rejets (procédure, fréquence...). Des limitations sont imposées pour les émissions de NO_x, de SO₂, de CO, de COVNM, de dioxines-furanes, de poussières, de HAP, de HCl, de HF, d'éléments traces métalliques ainsi que pour le NH₃ en cas de traitement des NO_x à l'aide de produits azoté. A noter que d'autres dispositions réglementaires peuvent être applicables en fonction des enjeux locaux, en particulier si l'installation de combustion est incluse dans un PPA. Les nouvelles VLE sont imposées avec des ajustements selon la puissance de l'installation, la durée de fonctionnement annuelle et la date de mise en service de l'installation (tableau 6). Un délai de mise en conformité est prévu pour les installations existantes avant le 20 décembre 2018, avec une échéance fixée à janvier 2025 pour les installations inférieures à 5MW et à janvier 2030 pour les autres. Concrètement l'imposition sur les poussières d'une VLE au maximum de 50 mg/m³ signifie la mise en place quasi systématique d'un système de traitement des fumées. De même la nouvelle VLE pour les NO_x à 300 mg/Nm³ implique une conception en bas NO_x et/ou avec déNO_x [17].

| VLE en mg/Nm ³ | 1 MW ≤ P < 5MW | 5 MW ≤ P < 20 MW | 20 MW ≤ P < 50 MW |
|---------------------------|----------------|--------------------|-------------------|
| SO ₂ | 200 | 200 | 200 |
| NO _x | 650 ou 500 | 650 ou 525 ou 300* | 400 ou 300* |
| CO | 250 | 250 | 200 |
| Poussières totales | 50 | 50 ou 30* | 30 ou 20* |

Tableau 6 : VLE applicables à partir du 20/12/2018 pour les installations dépendantes de la réglementation ICPE et fonctionnant plus de 500h/an. Les VLE sont fonction de la date de mise en service de l'installation. * VLE à respecter pour les installations mises en service après le 20/12/2018.

4.2. Bilan des campagnes de mesures à l'émission

Sur le sujet particulier des chaufferies biomasse, les multiples campagnes de mesures à l'émission menées ces dernières années à l'initiative de l'ADEME sont riches d'informations. Cinq campagnes ont été réalisées entre 2003 et 2016. A chaque fois, une dizaine d'installations a été investiguée, des chaufferies collectives et industrielles avec des puissances allant de la centaine de kW à plusieurs dizaines de MW, soumises ou non à la réglementation ICPE. Une analyse exhaustive des rejets a été systématiquement effectuée (poussières, gaz minéraux, COV, polluants organiques persistants (PCDD/F, HAP), les métaux lourds, composition chimique des particules). Dans l'ensemble, la tendance observée est à une amélioration de la maîtrise des rejets [18]. La plupart du temps les VLE sont respectées, voire même largement respectées.

Par exemple lors de la campagne de 2016, huit sites sur neuf avaient des rejets de poussière inférieurs à 10 mg/m^3 à 6% O_2 anticipant à l'époque le seuil de rejets fixé à 50 mg/m^3 à 6% O_2 pour l'échéance 2018. En règle générale, il est observé une baisse des rejets depuis le début de la série de campagnes de mesures en 2003, notamment pour les COV et le CO avec une amélioration des conditions de combustion par un meilleur usage des équipements, et pour les poussières avec l'utilisation d'équipements de dépoussiérages plus performants (électrofiltres, filtres à manches). Ces équipements de dépoussiérages, en particulier les filtres à manche, ont tendance à être plus efficaces sur les particules les plus fines. En 2016, La fraction PM10 représentait en moyenne 94 % des poussières totales émises, les PM2.5 77 % et les PM1 50 %. Cette baisse significative des émissions ne concerne toutefois pas les NOx et le SO₂. Pour le SO₂, dont les émissions sont liées à la qualité du combustible utilisé, les systèmes d'épuration utilisés ne sont pas dimensionnés pour abattre ce polluant [18]. Ces mêmes systèmes d'épuration n'étaient jusqu'à présent pas très performants pour les NOx, mais des progrès sont observés avec les nouvelles chaufferies équipées d'un système de réduction sélective non catalytique (SNCR) ou bénéficiant d'un foyer de conception technologique bas-NOx [18].

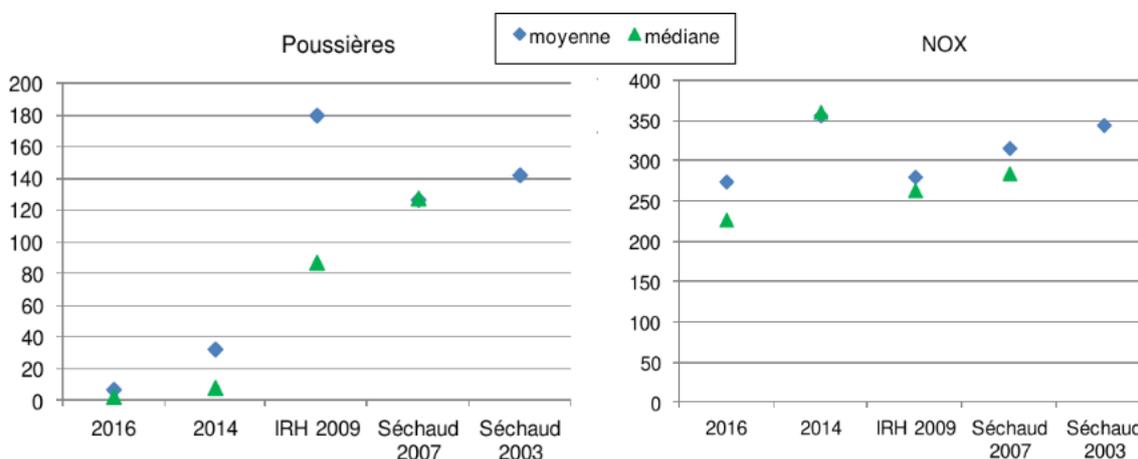


Figure 8 : concentrations mesurées à l'émission de chaufferies bois collectives et industrielles dans le cadre de campagnes de mesures menées à l'initiative de l'ADEME depuis 2003 (extrait de [16])

Si globalement les rejets atmosphériques des chaudières investiguées depuis 20 ans semblent maîtrisés et conformes à la réglementation en vigueur, les différentes campagnes de mesure à l'émission ont néanmoins mis en exergue des cas isolés de rejets plus élevés que la normale voire même de non-respect de VLE. La plupart du temps, ces 'anomalies' ont pu être reliées à des mauvais réglages d'installations ou à un défaut de qualité du combustible utilisé. Par exemple, lors de la campagne de 2014, un site dépassait le seuil de rejets de poussières de 50 mg/m^3 à 6% O_2 à cause d'une régulation mettant hors service un électrofiltre. En 2016, un site dépassait la VLE pour le CO, un autre la VLE pour les PCDD/F. Globalement, il était constaté que les installations de plus petites tailles étaient parfois surdimensionnées et fonctionnaient avec un taux de charge trop bas conduisant à des mauvaises conditions de combustion. Les rejets de PCDD/F étaient ainsi plus élevés en règle générale pour les petites chaufferies. La nature et la qualité du combustible utilisé a une influence sur la nature des rejets et peut être à l'origine de pannes. En 2016, comme en 2014, une grande majorité des chaufferies utilisaient un mélange de plaquettes forestières et de broyat d'emballages bois. En 2014, une chaufferie se distinguait par des teneurs très élevées en plomb du fait de la présence de nombreux corps métalliques dans le combustible.

En règle générale, les métaux les plus représentés dans les émissions de chaufferie sont le zinc, suivi du plomb et du cuivre, puis du vanadium, chrome et nickel [19]. Certains paramètres tels que l'essence et la présence d'écorce peuvent jouer un rôle important sur la teneur en métaux lourds du combustible.

4.3. Les facteurs d'émission

Comme indiqué dans le tableau 7, les facteurs d'émission utilisés pour calculer les inventaires permettent de rendre compte des spécificités des émissions associées à la combustion de biomasse. Tout d'abord, la biomasse est nettement plus émettrice de PM10, de CO, de NOx ou encore de BaP que les combustibles fossiles comme le fioul domestique ou le gaz naturel. Par ailleurs, plus l'installation est puissante et plus en règle générale les facteurs d'émission sont faibles, compte tenu d'une meilleure maîtrise des conditions de combustion et des exigences réglementaires plus sévères. Enfin, comparé aux chaufferies collectives et industrielles, les facteurs d'émissions associés au secteur résidentiel sont plus élevés. Un foyer domestique ouvert émet par quantité de combustible brûlé jusqu'à 70 fois plus de PM10, 280 fois plus de CO, 340 fois plus de COVNM et 48400 plus de BaP.

| Secteur utilisant la biomasse | Polluant | FE (g/GJ) utilisé en 2015 | | |
|---|----------|---------------------------|--------------------|--------------------|
| | | Bois | Fioul domestique | Gaz naturel |
| Chauffage urbain – Chaudières P ≥ 20 MW | PM10 | 10 | 2.4 | 0.9 |
| | SO2 | 10 | 48 | 0.5 |
| | CO | 250 | 40 | 30 |
| | NOX | 128 | 100 | 60 |
| | COVNM | 5 | 15 | 2 |
| | BaP | 5.10 ⁻⁴ | 2.10 ⁻⁵ | 6.10 ⁻⁷ |
| Chauffage urbain – Chaudières P < 20 MW | PM10 | 80 | 2.4 | 0.9 |
| | SO2 | 10 | 48 | 0.5 |
| | CO | 250 | 40 | 30 |
| | NOX | 200 | 100 | 60 |
| | COVNM | 5 | 15 | 2 |
| | BaP | 5.10 ⁻⁴ | 2.10 ⁻⁵ | 6.10 ⁻⁷ |
| Chauffage résidentiel « individuel » Foyer ouvert | PM10 | 712.5 | | |
| | SO2 | 10.0 | | |
| | CO | 7000 | | |
| | NOX | 60 | | |
| | COVNM | 1700 | | |
| | BaP | 24.2 | | |

Tableau 7 : facteurs d'émission utilisés dans le cadre du calcul de l'inventaire 2015 Normand. Les FE associés au chauffage urbain utilisant la biomasse (secteur 'transformation de l'énergie') sont ceux fournis par le CITEPA (base OMINEA). Les FE utilisés pour le chauffage résidentiel au bois sont issus d'une étude publiée par l'ADEME [20]

Les campagnes de mesure menées à l'initiative de l'ADEME à l'émission de chaufferies biomasse industrielles et collectives ont permis de vérifier l'adéquation des facteurs d'émission associés à ce type d'installations dans le cadre des inventaires. A l'issue de la campagne 2014, l'ADEME soulignait dans son rapport que les valeurs d'émissions mesurées en sortie de cheminée étaient nettement inférieures aux valeurs prises en compte par le CITEPA pour les poussières, le CO, les COVNM, et dans une moindre mesure pour les NOx, les dioxines-furanes et les HAP [19]. Des valeurs globalement homogènes étaient observés pour les métaux et le SO2. Plus globalement il a été constaté ces dernières années une incohérence entre les niveaux estimés dans l'inventaire national et les niveaux attendus considérant les valeurs limites d'émission imposées par les réglementations successives mises en place. Une mise à jour des facteurs d'émission pour les chaufferies biomasse 1-20 MW relevant du Fonds Chaleur a ainsi été proposée en 2019 par un groupe de travail réunissant l'ADEME et le CITEPA, avec pour les poussières totales en suspension (TSP) par exemple une valeur réduite quasiment de moitié [21]. D'une manière générale, les facteurs d'émission concernant la combustion de biomasse au sens large sont sujet à discussion. De nombreuses études ont été menées ces dernières années notamment sur les installations de chauffage individuel pour mettre en évidence la forte hétérogénéité des rejets non seulement selon le type de foyer (poêle, insert, foyer ouvert) mais aussi selon les conditions d'utilisation (nature du combustible, humidité, charge, tirage, etc...). Comme le rappelle l'INERIS, un autre facteur de complexité dans la détermination des facteurs d'émissions provient de la méthode de mesure, qui va ou non permettre de prendre en compte la fraction condensable de l'aérosol en plus de la fraction solide [6]. Pour rappel, la fraction condensable correspond aux espèces chimiques émises sous forme de gaz lors de la combustion mais qui passent en phase solide particulaire lorsque la température diminue.

A ce jour, aucune méthode normalisée de mesurage des émissions de particules ne bénéficie d'un consensus au niveau Européen. La caractérisation à l'émission des deux fractions de l'aérosol, solide et condensable, est, toujours selon l'INERIS, indispensable dans l'objectif d'établir des facteurs d'émission pertinents pour alimenter les inventaires d'émission [6].

4.4. Les études d'impact

L'impact des chaufferies biomasse sur la qualité de l'air environnante a fait l'objet de nombreuses études qui s'inscrivent la plupart du temps dans le cadre de la réglementation des ICPE. A notre connaissance, il n'y a pas aujourd'hui de méthodologie 'normalisée' pour caractériser l'impact d'une chaufferie. Les méthodes et les moyens mis en œuvre peuvent différer et il ressort souvent la difficulté de mettre en évidence la contribution d'une installation à la pollution de fond à partir des indicateurs usuellement utilisés comme l'étude des polluants réglementés (PM10, NO₂, ...). Ces conclusions sont tirées du rapport rédigé en 2016 par le cabinet d'études Girus dans le cadre d'une demande de l'ADEME pour définir un outil d'évaluation de l'impact des chaufferies biomasse [22]. Girus avait notamment réalisé un état des lieux des méthodologies mises en œuvre qu'il s'agisse d'études préalables à la mise en service ou à la modification d'une installations (études 'ex-ante') ou d'études visant à vérifier l'impact d'une chaufferie en fonctionnement (études 'ex-post').

4.4.1. Etudes 'ex-ante'

Dans son rapport, Girus a étudié 17 études rédigées entre 2008 et 2015 issues directement des dossiers réglementaires pour des installations soumises à autorisation ou à déclaration. Ces études portent systématiquement sur une modélisation des concentrations atmosphériques moyennes annuelles directement imputables aux émissions des chaudières pour les principaux polluants soumis à des VLE. Ces mêmes VLE sont utilisées comme données d'entrée, considérées comme majorantes, du modèle pour caractériser les émissions de l'installation. La plupart du temps, seules les émissions liées à la combustion de la chaudière sont prises en compte de façon quantitative, les autres sources potentielles (émissions des véhicules de livraison, rejets NH₃ du dispositif de traitement Dénox, ..) étant traitées de façon qualitative. Le domaine d'étude est généralement compris dans un rayon inférieur à 10 km autour de l'installation. Il n'y a bien souvent aucune prise en compte de la pollution de fond et aucune comparaison de la qualité de l'air à la situation initiale, avant implantation de la chaufferie, sauf pour les projets de modification d'une installation. Sur la base de ces méthodologies d'évaluation, il ressort dans les études consultées par GIRUS que les projets de chaufferie n'ont globalement qu'un faible impact sur la qualité de l'air environnante avec le respect systématique des valeurs limites en air ambiant pour les polluants réglementés.

L'AASQA ASPA (désormais Atmo Grand-Est) était arrivée à une conclusion similaire dans le cadre d'une étude réalisée en 2014 pour le compte de l'agglomération de Mulhouse concernant le projet de modification de la centrale thermique de l'Illberg sur la commune de Didenheim [23]. L'AASQA a été consultée afin de fournir une évaluation de l'impact de la mise en service de nouvelles installations devant permettre d'accroître la proportion d'énergie produite à partir de biomasse en complément du fioul et du gaz. Une approche méthodologique en deux temps, basée sur la modélisation, a été choisie avec tout d'abord la réalisation d'un diagnostic initial de l'impact de la chaufferie sur la base de l'existant, puis une intégration des modifications prévues afin de caractériser les évolutions attendues en termes d'émissions et de concentrations dans l'air environnant. L'ASPA a utilisé le modèle gaussien ADMS Urban³ qui permet d'intégrer jusqu'à 6000 sources (ponctuelles, linéiques, surfaciques ou volumiques) et de prendre en compte des phénomènes complexes comme les effets "Street canyon", la photochimie, les reliefs complexes ou encore l'occupation des sols. Les modélisations ont été effectuées en intégrant la pollution de fond comme donnée d'entrée sur laquelle le modèle superpose la pollution locale calculée à partir des sources d'émissions décrites dans le domaine d'étude (transport routier, activités du tertiaire/résidentiel, du secteur agricole et du secteur industriel). Concernant les émissions de polluants attribuables à la chaufferie, l'ASPA s'est basée pour l'état initial sur les consommations d'énergie fournies par l'exploitant. Pour la modélisation de l'état futur, l'ASPA a retenu l'hypothèse majorante que les émissions seraient au pire des cas égales aux VLE imposées par l'arrêté d'exploitation. Considérant par ailleurs que le passage au combustible bois entraînerait également un trafic supplémentaire de poids lourds pour alimenter les nouvelles chaudières en plaquettes, l'ASPA a majoré pour la modélisation de l'état futur, le trafic quotidien poids lourds sur les axes desservant la chaufferie. Le modèle a été utilisé pour calculer sur la zone

³ Fiche LCSQA de description du modèle ADMS Urban (https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/Fiche_ADMS-Urban_v1.pdf)

d'étude les concentrations moyennes annuelles en PM10, PM2.5, NOx, benzène, benzo(a)pyrène et SO₂. Il a été calé à partir des données de 3 stations de mesures ASPA environnantes.

Les résultats présentés dans le rapport d'étude indiquent que si l'augmentation des émissions de polluants directement attribuables au projet de modification de la chaufferie sont pour la plupart significatives (benzène +1000%, NO₂ +40 %, PM10 +720 %, PM2.5 + 3600 %, BaP + 3733 %, SO₂ +7165%), elles n'ont cependant qu'un faible impact (de 1 à 2%) sur les émissions totales des communes de Didenheim et Mulhouse réunies. Seules les émissions du SO₂ dans un contexte de faibles émissions sur l'ensemble de la zone d'étude augmentent significativement (+45%). L'impact sur la qualité de l'air environnante de la chaufferie est lui aussi très faible. Les niveaux de concentrations dans l'air ambiant augmentent très légèrement dans le panache du site de l'Illberg (de + 0.0025 ng/m³ pour le BaP à +0,25 µg/m³ pour le SO₂) n'entraînant pas de dépassements supplémentaires des valeurs réglementaires dans la zone d'étude.

Mêmes conclusions quelques années plus tôt avec une étude de l'AASQA Air Lorraine (désormais Atmo Grand-Est) réalisée en 2012 pour évaluer l'impact d'un projet de construction d'une chaufferie biomasse sur la commune de Yutz [24]. Air Lorraine avait utilisé globalement la même méthodologie que l'ASPA. Les calculs de modélisation de la dispersion atmosphérique, réalisés avec ADMS Urban, mettaient en évidence une très légère augmentation des concentrations moyennes annuelles en NO₂ (+2%) et en PM10 (+0.1%) imputables aux émissions de la centrale. L'augmentation était plus importante pour le SO₂ avec une augmentation de la concentration de +0.45 µg/m³, soit environ 25 % de hausse par rapport à l'état initial sans chaufferie. Dans tous les cas, pour les 3 polluants étudiés dans l'étude, les objectifs de qualité et les valeurs limites réglementaires étaient respectés dans l'état futur avec la chaufferie.

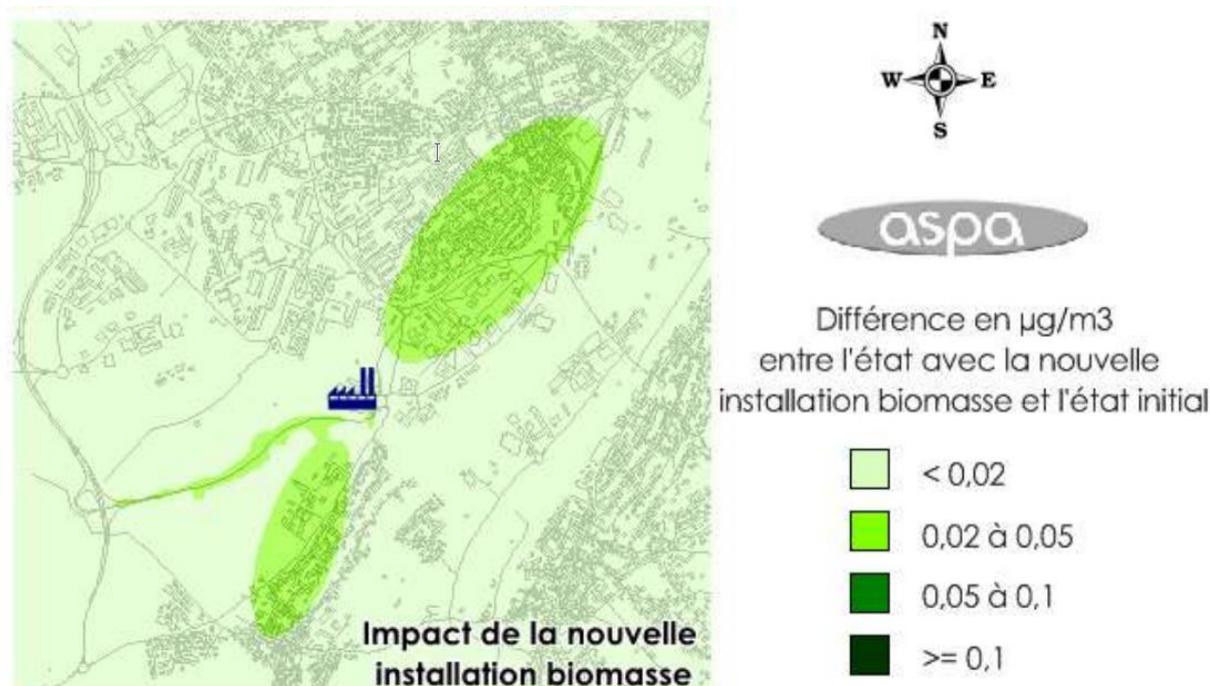


Figure 9 : Evolution des concentrations de PM10 dans l'environnement de la centrale thermique de l'illberg (agglomération de Mulhouse) imputables au projet d'installation de chaudières biomasse. Etude réalisée par l'ASPA avec le modèle ADMS Urban.

4.4.2. Etudes 'ex-post'

Pour ce qui est des études portant sur des chaufferies biomasse déjà en fonctionnement, le cabinet GIRUS a passé en revue une dizaine de rapports de campagne de mesures de la qualité de l'air publiés entre 2007 et 2014. Ces études ont été réalisées par des AASQA qui bien souvent sont sollicitées directement par l'exploitant alors qu'il doit faire face aux inquiétudes des riverains. En terme de méthodologie déployée, il s'agit le plus souvent de campagnes de mesures ponctuelles, typiquement de quelques mois, avec l'installation d'un laboratoire mobile à proximité immédiate de l'installation (<500m) et l'utilisation d'autres stations de mesures aux alentours (dans un rayon < 5km) comme points de comparaison. L'implantation du moyen mobile est généralement décidée au regard du contexte urbain environnant (présence d'habitations, d'ERP, influence d'autres sources de pollution) et en fonction des vents dominants. Dans certains cas, une étude préalable des zones de retombées du panache est effectuée par modélisation numérique de la dispersion des rejets (par exemple avec ADMS Urban) en vue d'aider au choix de la localisation du point de mesure [25, 26]. Les polluants investigués sont dans la majorité des cas les poussières (poussières totales, PM10, PM2.5), les NOx, le SO₂ et dans une moindre mesure le CO, le benzène et les HAP. D'autres polluants comme les métaux, les dioxines/furanes, le NH₃ sont plus rarement mesurés tout comme la caractérisation de la composition des chimiques des poussières. Les rapports d'études intègrent le plus souvent dans leur analyse les autres sources de pollution présentes sur zone (trafic routier, chauffage résidentiel). Globalement, les diverses campagnes menées par les AASQA concluent à un impact très faible voire à l'absence d'impact des installations sur la qualité de l'air ambiant, avec l'absence de dépassements de seuil réglementaires directement imputables aux émissions des chaufferies.

Dans une étude très complète publiée en 2009, Atmo Auvergne Rhône-Alpes (AuRA) avait analysé les traceurs de combustion de la biomasse (composition chimique des aérosols, concentration en lévoglucosan, profil des HAP..) dans l'air ambiant autour de trois chaufferies bois de la région Rhône-Alpes [13]. Si l'impact de la combustion de biomasse avait pu être mise en évidence comme plus importante l'hiver, d'après Atmo AuRA la contribution des chaufferies pouvait être considérée comme faible ou bien « noyée » par l'ensemble des autres sources existantes sur les zones considérées (chauffages résidentiels, sources industrielles ou autres). L'ensemble des mesures effectuées dans l'environnement proche des chaufferies n'a pas montré d'impact significatif sur les niveaux de qualité de l'air qui pouvait être directement lié aux émissions de ces installations.

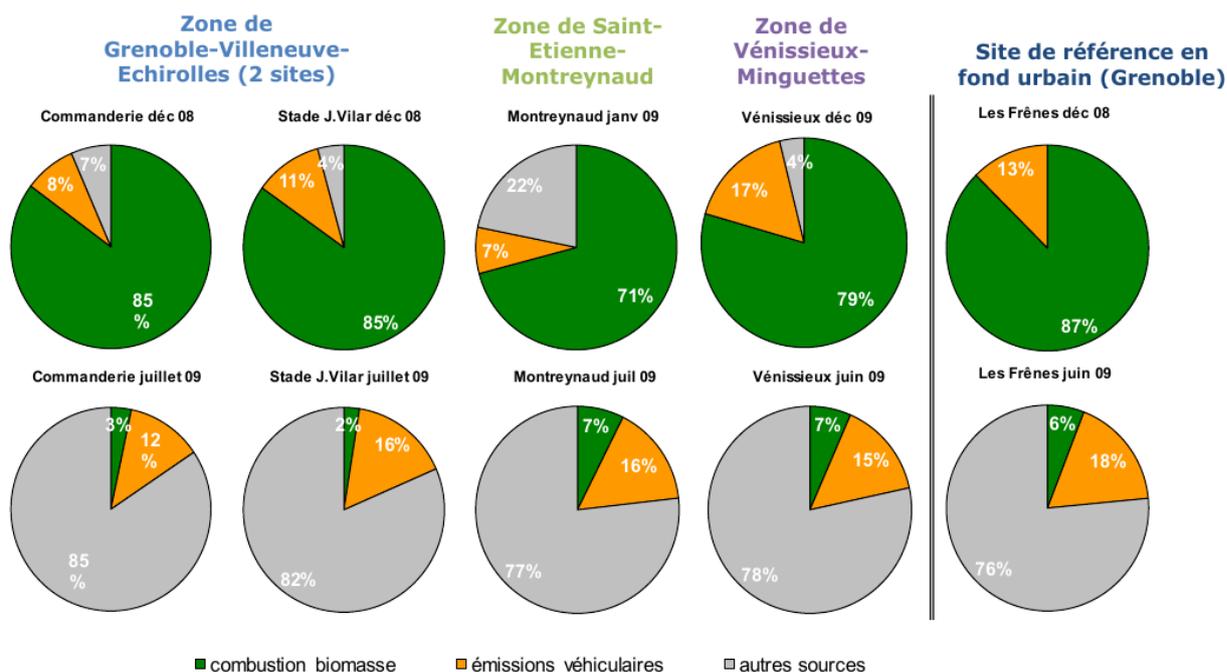


Figure 10 : Poids de diverses sources dans la fraction organique mesurée dans les PM10 à proximité de 3 chaufferies bois en région Auvergne Rhône Alpes et comparaison au site de référence de Grenoble (extrait de [13])

Mêmes observations avec l'AAQA Air Pays de Loire (Air PL) qui a effectué plusieurs campagnes de mesures ces dernières années autour de chaufferies biomasse. Durant l'hiver 2013/2014, Air PL a étudié l'impact de la centrale de cogénération BioWatts au sud d'Angers [27]. Trois sites de mesures, dont un site dans la zone de retombées maximales de la chaufferie (à environ 700m), un site 'rural' (à 40km) et un site 'péri-urbain' (à environ 700m), ont été instrumentés pour la mesure continue des poussières en suspension (PM10, PM2.5) et pour le prélèvement de filtres en vue d'étudier la composition chimique des aérosols. Le site périurbain était également équipé pour la mesure du BC à l'aide d'un aéthalomètre multi-longueur d'ondes. Air PL a exploité les données de mesure pendant près de 4 mois ainsi que les résultats d'analyse des filtres prélevés quotidiennement sur les 3 sites durant 13 jours consécutifs. Dans les conditions expérimentales de l'étude, avec des conditions météorologiques peu favorables à l'accumulation de polluants, Air PL n'a constaté aucune influence des émissions de la chaufferie ni sur les teneurs en particules fines PM2.5 et PM10 ni sur les concentrations en BC. De même aucun impact visible n'a été observé sur les traceurs de la combustion de biomasse. Par contre, de façon plus globale, Air PL observait une influence plus marquée de la combustion de biomasse en milieu urbain du fait du chauffage résidentiel.

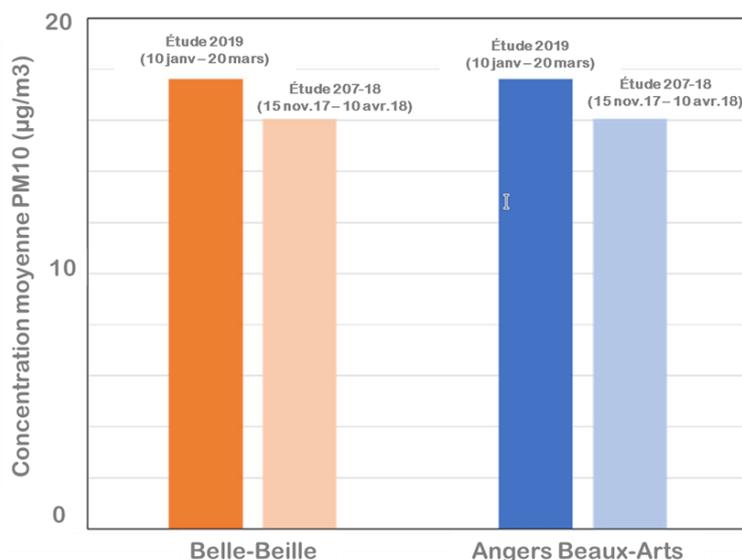


Figure 11 : concentrations moyennes en PM10 mesurées par Air Pays de Loire au cours de deux périodes d'étude à Angers à proximité immédiate d'une chaufferie biomasse et quelques kilomètres plus loin en centre-ville (extrait de [28])

Dans une autre étude [24, 27], menée en deux temps entre 2017 et 2019 autour de la chaufferie bois de Belle-Beille à Angers, Air PL concluait à nouveau à l'absence d'influence de la chaufferie sur les niveaux de pollution (SO₂, NO_x, PM2.5, PM10, BC) mesurés à proximité de l'installation, dans la zone de retombées maximales à moins de 200 mètre du site (cf. figure 10). Néanmoins le dispositif déployé a permis à deux reprises de mettre en lumière un impact ponctuel de l'installation sur la qualité de l'air environnante, coïncidant à chaque fois à une opération de maintenance ou à un dysfonctionnement temporaire. En décembre 2017, un dépassement du seuil d'information et de recommandation en PM10 a ainsi été observé au niveau du laboratoire mobile placé sous les vents de l'installation. Si la tendance au niveau régional correspondait à ce moment-là à une élévation des niveaux de pollution particulaire, aucun dépassement n'était constaté quelques kilomètres plus loin dans le centre-ville d'Angers. L'explication retenue fut les opérations de maintenance ayant lieu sur l'installation qui ont conduit à la mise hors service du système de filtration des poussières pendant plusieurs jours. Lors de la campagne de 2019, c'est une nouvelle fois la désactivation du dispositif de traitement des fumées qui a permis d'expliquer des pics de concentration en PM10 observés pendant quelques heures (+30 µg/m³ par rapport à Angers centre-ville), sans conduire toutefois à des dépassements de seuils réglementaires.

L'AASQA Atmo Nouvelle-Aquitaine a également étudié l'impact des émissions des chaufferies biomasse sur la qualité de l'air. Depuis 2012, Atmo Nouvelle-Aquitaine réalise périodiquement des campagnes de mesures dans le cadre du plan de surveillance la centrale bois de cogénération à Limoges opérée par SDCL/DALKIA. D'une durée de 4 semaines, ces campagnes portent sur la mesure des dioxines-furannes (air ambiant et retombées), des métaux (air ambiant et retombées), des HAP, du SO₂, du NO₂, des PM10 et du benzène dans l'air ambiant. Plusieurs points de mesure sont répartis autour de la chaufferie localisée dans un environnement péri-urbain où sont présentes d'autres sources de pollution (trafic routier, chauffage résidentiel). Dans son rapport sur la campagne 2019, Atmo NA souligne l'absence d'impact visible des émissions de la chaufferie [29].

L'observatoire national de la composition chimique et des sources de particules fines en milieu urbain (programme CARA), mené en collaboration étroite entre le LCSQA et les AASQA depuis 2008 a pour objectif de comprendre et informer sur la nature et l'origine des particules fines. Il a notamment pour objectifs de permettre la mise en œuvre de méthodologies de caractérisation chimique des particules atmosphériques adaptées à la surveillance opérationnelle des AASQA, de déterminer les principales sources de particules tant en « situation normale » que lors des épisodes de pollution afin d'aider à l'élaboration de plans d'actions et/ou de mesures d'urgence adaptés et d'améliorer les connaissances sur les phénomènes de chimie-transport des particules pour les outils de modélisation. Atmo Normandie participe à ce programme sur le site de Petit-Quevilly avec le prélèvement journalier de particules sur des filtres, analysés ultérieurement en laboratoire, des mesures de la fraction volatile des PM10 et du black carbon.

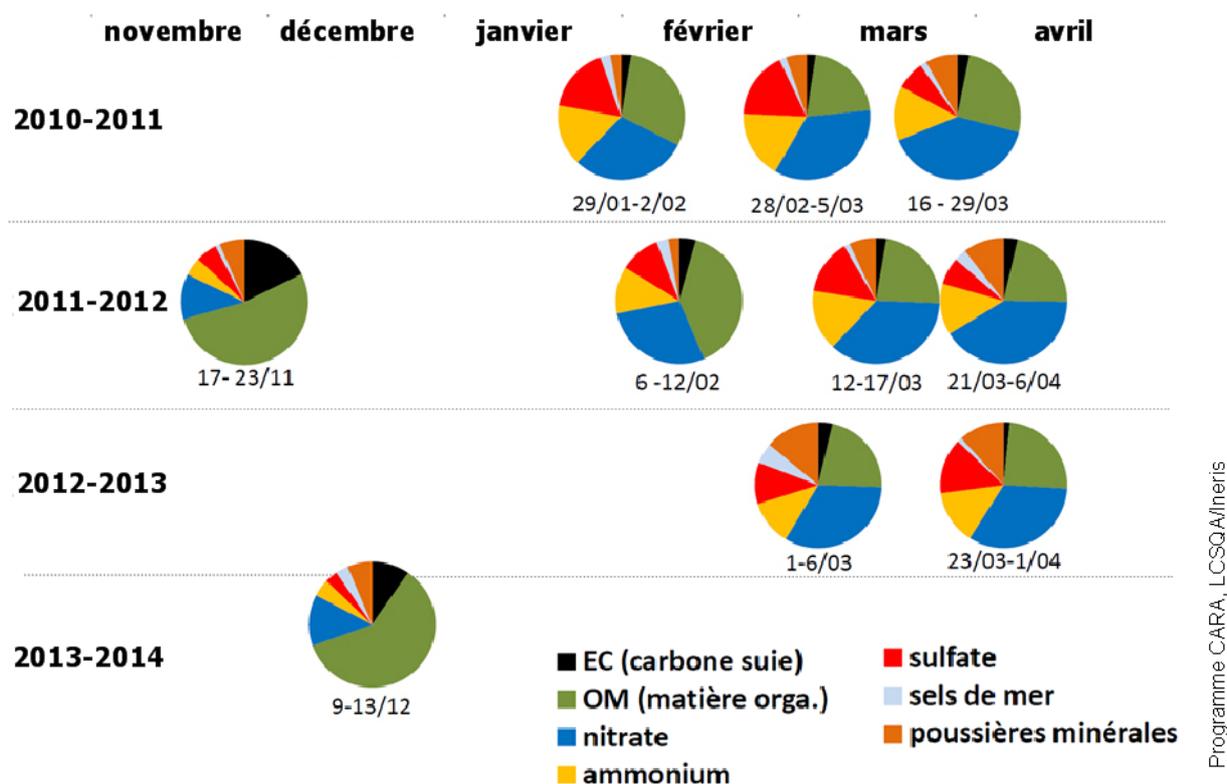


Figure 12 : Répartition des espèces chimiques majeures lors des 10 plus importants épisodes de pollution par les particules* à Petit-Quevilly (du 01/01/2011 au 31/12/2013)

*au moins 5 jours consécutifs présentant une moyenne globale en PM10 > 50 µg/m3

C'est grâce à ce dispositif que des épisodes de pollution sur la région Normandie ont pu être différenciés sur plusieurs années. D'une part, les épisodes de pollution dits « hivernaux » sur les mois de novembre à janvier, caractérisés par une quantité majoritaire de carbone suie et de matière organique, indicateurs de sources locales des particules liées au trafic routier et maritime, les activités industrielles et le chauffage domestique (biomasse). D'autre part, les épisodes dits « printaniers » sur les mois de février à avril, caractérisés par une fraction volatile plus importante de nitrate d'ammonium liée aux émissions du secteur agricole dues notamment aux épandages d'engrais azotés. Elles viennent s'ajouter aux émissions plus classiques de l'industrie, des transports routiers et maritimes et du chauffage, d'origine locale mais aussi plus lointaines (Nord-Est de l'Europe).

4.4.3. Des nuisances ponctuellement signalées

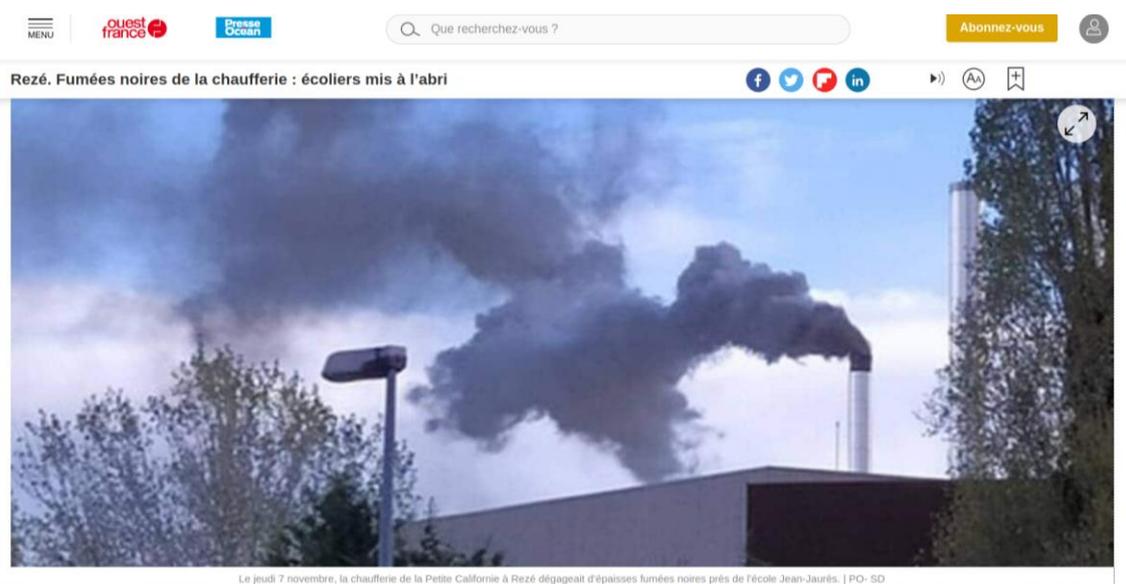


Figure 13 : extrait d'un article publié sur le site de Ouest France le 08 novembre 2019

Une rapide recherche des articles de presse évoquant l'impact des chaufferies biomasse fait apparaître plusieurs cas de nuisances (odeurs, panache) signalées par des habitants vivant à proximité d'installations. Ces nuisances sont la plupart du temps expliquées par un mauvais fonctionnement de l'installation. Par exemple, Ouest France consacrait un article⁴ le 08 novembre 2019 sur la chaufferie bois de la Petite Californie à Rezé (44) qui a laissé échapper 'des fumées noires et malodorantes', incommodants les riverains (irritation à la gorge, maux de tête) et incitant la directrice de l'école avoisinante à faire rentrer les élèves lors de la récréation. En terme d'explication, Nantes Métropole a évoqué des rejets 'temporaires' liés à une phase de réglage de l'installation. Ce 'fait divers' résonne avec un autre cas relevé en Ile de France le 04 juin 2019 dans un article⁵ du Parisien. Comme l'explique l'article, la chaufferie biomasse à Clichy a dû être ponctuellement arrêtée par l'exploitant suite aux inquiétudes des riverains face à « l'épaisse fumée noire s'échappant de la cheminée de la chaufferie » et aux odeurs « très désagréables » ressenties. L'exploitant a justifié cet incident comme le résultat « d'une mauvaise combustion au moment de la baisse de régime de l'installation ».

A noter que dans son registre des signalements effectués par des riverains pour des nuisances liées à la qualité de l'air (odeurs, panaches), Atmo Normandie a pu extraire quelques cas isolés mentionnant explicitement des chaufferies biomasse, sans que cela puisse être confirmé. Entre 2012 et 2019, il y a eu par exemple 8 signalements concernant la chaufferie du Havre, 2 concernant celle de Mont Saint Aignan, les personnes indiquant des odeurs de brûlé, de feu de bois, des rejets de poussières avec parfois des incommodations de type toux ou irritation.

⁴ <https://www.ouest-france.fr/normandie/caen-14000/caen-un-habitant-se-plaint-de-la-chaufferie-bois-6600721>

⁵ <http://www.leparisien.fr/hauts-de-seine-92/chaudiere-biomasse-de-clichy-qu-est-ce-que-c-est-que-cette-fumee-noire-04-06-2019-8086278.php>

Chaudière biomasse de Clichy : qu'est-ce que c'est que cette fumée noire ?

Ce mardi matin, les habitants ont constaté une épaisse fumée s'échappant de la cheminée de la rue Fournier. Le délégataire a suspendu son fonctionnement.

Figure 14 : extrait d'un article publié sur le site du Parisien le 04 juin 2019

5. Conclusion et perspectives

Le bois-énergie est une source d'énergie renouvelable locale, abondante, bon marché et créatrice d'emplois. Peu émettrice de gaz à effet de serre (sur la base de l'hypothèse que le CO₂ émis pendant la combustion de biomasse est compensé par le CO₂ capté par le renouvellement des forêts), son utilisation est encouragée au niveau national pour faire face aux enjeux climatiques. Mais le bois-énergie ne présente pas que des avantages. En effet, la combustion de biomasse contribue à la dégradation de la qualité de l'air, aussi bien extérieure qu'intérieure, avec un impact parfois significatif sur la pollution d'origine particulaire en période hivernale. Ces émissions sont en grande partie imputables au chauffage individuel au bois qui concentre en 2015 près de 60% de la consommation du bois-énergie en Normandie. Surtout, ce sont les équipements de chauffage domestique de type foyer ouvert ou foyer fermé/insert ancien qui sont mis en cause avec des facteurs d'émission très largement supérieurs aux chaufferies biomasse collectives et industrielles par exemple. A l'inverse des équipements domestiques, les rejets des installations de puissance supérieure à 1 MW sont contrôlés et limités du fait de la réglementation ICPE en vigueur qui impose pour ces dernières des valeurs limites d'émission pour de nombreux polluants.

Parmi l'ensemble des polluants émis par la combustion de biomasse, certains peuvent être considérés comme des marqueurs de cette source. C'est le cas par exemple du lévoglucosan qui est souvent cité comme le marqueur particulaire univoque de la combustion de biomasse car issu spécifiquement de la dégradation thermique de la cellulose. Bien souvent, c'est surtout une combinaison de traceurs gazeux (alcanes C10-C40, COV oxygénés de type méthanol, acétone, phénol) et particulaires (potassium dans la fraction inorganique, HAP à faible poids moléculaire, dioxines/furanes, ratio EC/OC <1) qui vont permettre de mettre en évidence l'impact de combustion de biomasse sur la qualité de l'air ambiante. Mais cette tâche peut s'avérer être difficile surtout quand il s'agit de distinguer l'influence d'un type de combustion de biomasse particulier. Si des études ont montré des spécificités entre les émissions d'une chaufferie industrielle, d'un foyer fermé domestique ou encore d'un feu de déchets verts, si des indicateurs ont été développés pour illustrer ces différences à partir de mesures à l'émission (ratio Lévo-glucosan/Mannosan), il n'est pas toujours possible d'utiliser avec succès ces indicateurs avec des mesures dans l'air ambiant qui intègrent la signature d'une multitude de sources.

Concernant les effets sanitaires associés à la combustion de biomasse, un récent rapport de l'ANSES concluait qu'il n'y a « pas de raison de considérer la combustion de biomasse comme moins dangereuse que d'autres sources urbaines, notamment le trafic ». La combustion de biomasse participe aux effets de la pollution atmosphérique à hauteur de sa contribution aux niveaux ambiants et évaluer le risque sanitaire associé spécifiquement à cette source est difficile à partir de mesures dans l'air ambiant. Il y a bien quelques traceurs de la combustion de biomasse pour lesquels des risques sanitaires sont documentés mais la difficulté est qu'il n'existe peu ou pas de valeurs toxicologiques de référence ou de valeurs guides permettant de juger du niveau de risque associé à une exposition. Il n'y a par exemple aucune valeur de référence sanitaire disponible à ce jour pour évaluer le risque d'une exposition au carbone suie ou au potassium, deux marqueurs de la combustion de biomasse pour lesquels des effets sanitaires sont avérés.

Sur la base des études d'impact des chaufferies biomasse parcourues dans le cadre de ce travail, il apparaît que les résultats de modélisation et/ou les résultats de mesure de qualité de l'air dans l'environnement proche d'une installation aboutissent systématiquement à conclure à l'impact faible voir à l'absence d'impact de la chaufferie. Les valeurs limites en air ambiant pour les polluants réglementés sont à chaque fois respectées. Toutefois, des impacts peuvent être ponctuellement mis en évidence, consécutifs la plupart du temps à des dysfonctionnements ou à des opérations de maintenance en cours sur les installations. Des rejets anormalement élevés dus à des mauvais réglages étaient également signalés de façon épisodique dans le cadre des campagnes de mesure menées à l'émission de plusieurs installations entre 2003 et 2015 à l'initiative de l'ADEME. Plus globalement, ces dysfonctionnements sont parfois à l'origine de nuisances (odeurs, panache noir) pour les riverains suscitant l'inquiétude et fragilisant l'acceptabilité de la population pour ce type d'installation.

Le travail mené dans le cadre de la phase initiale du projet Risachabois a donc permis de faire un état des lieux de l'impact de la combustion de biomasse au sens large et des chaufferies biomasse en particulier. Il a été convenu avec les partenaires du projet que l'étape suivante consisterait à scénariser par modélisation différentes configurations d'implantation de chaufferies bois sur le territoire. S'il est peu probable compte tenu des éléments apportés par cette étude bibliographique qu'une chaufferie bois, qui plus est récente, ait un impact significatif sur la qualité de l'air ambiante, il n'en reste pas moins que la prise en compte de spécificités locales (niveaux de pollution, présence d'émetteurs de type industriel ou liés au trafic, densité de population) est un enjeu pour minimiser l'impact, anticiper la mise en vigueur de nouvelles valeurs toxicologiques de référence et in fine favoriser l'acceptation des populations riveraines. Atmo Normandie a aujourd'hui les capacités techniques et humaines pour réaliser ce type d'étude prospective par modélisation.

6. Bibliographie

- [1] ADEME, 2015. « Les Avis des de l'ADEME : Bois énergie et qualité de l'air ». Brochure
- [2] ORECAN, 2021. « Synthèse régionale sur les productions d'énergies renouvelables en 2019 ». bilan accessible sur le site http://www.orecan.fr/wp-content/uploads/2021/03/BilanEnR_ORECAN_2019.pdf
- [3] AIR PUR, 2012. « La Combustion du bois et ses impacts sur la qualité de l'air », Revue n°81
- [4] AASQA Rhône-Alpes, 2007. « Combustion du bois et qualité de l'air ». Rapport de Synthèse
- [5] Benoît Brandelet, «Caractérisation physico-chimique des particules issues du chauffage domestique au bois », Thèse, Université de Lorraine, 2016
- [6] INERIS, 2018. « Synthèse des études à l'émission réalisées par l'INERIS sur la combustion du bois en foyers domestiques ». Note de synthèse n°DRC-17-164787-10342A
- [7] Julie Allard, « Qualité de l'air dans la Vallée de l'Arve : météorologie locale et mesures des réductions des émissions liées au chauffage au bois », Thèse, Communauté Université Grenoble Alpes, 2018
- [8] ADEME, 2014. « Etude de la sensibilité des paramètres de fonctionnement des appareils de chauffage domestique au bois sur la composition et l'émission des particules fines ». Rapport de synthèse final.
- [9] Benjamin Golly, « Etude des sources et de la dynamique atmosphérique de polluants organiques particulaires en vallées alpines : apport de nouveaux traceurs organiques aux modèles récepteurs », Thèse, Université de Grenoble, 2014
- [10] Christine Piot, « Polluants atmosphériques organiques particulaires en Rhône-Alpes : caractérisation chimique et sources d'émissions », Thèse, Université de Grenoble, 2011
- [11] Brice Piednoir, « Comportement en combustion de résidus de biomasse : mise en évidence de synergies par mélange sous forme de granulés », Thèse, Université de Perpignan Via Domitia, 2017
- [12] LCSQA, 2015. « Impact de la combustion de biomasse sur les concentrations de PM10 dans 10 agglomérations du programme CARA au cours de l'hiver 2014-2015 ». Rapport
- [13] AASQA Rhône-Alpes, 2010. « Etude de traceurs de combustion de la biomasse dans l'air ambiant autour de trois chaufferies bois de la région Rhône-Alpes ». Rapport d'étude
- [14] ORS, 2018. « Chauffage au bois et santé en Île De France ». Focus Santé en Île De France
- [15] Anses, 2018. « Particules de l'air ambiant extérieur. Effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie ». Rapport d'expertise collective
- [16] Le Bois International, 2018. Revue. Supplément au n°33
- [17] FNCCR, 2019. « Chaufferies biomasse et émissions. Focus spécifique aux chaufferies biomasse». Note
- [18] ADEME, 2017. « Evaluation des performances énergétiques et environnementales de chaufferies biomasse. Campagne de mesure 2016 ». Rapport public

- [19] ADEME, 2014. « Evaluation des performances énergétiques et environnementales de chaufferies biomasse ». Rapport public
- [20] ADEME, 2009. « Evaluation prospective 2020-2050 de la contribution du secteur biomasse énergie aux émissions nationales de polluants atmosphériques ». Rapport de synthèse
- [21] ADEME, 2019. « Proposition d'évolution des facteurs d'émission 1 -20 MW ». Note
- [22] ADEME, 2016. « Développement et test d'une méthodologie d'étude d'impact sur la qualité de l'air des projets de chaufferies biomasse candidats au fonds chaleur ». Rapport final
- [23] ASPA, 2014. « Chaufferie de l'Illberg. Installation de 2 chaudières biomasse à la centrale thermique de l'Illberg : impact sur la qualité de l'air ». Rapport d'étude
- [24] Air Lorraine, 2012. « Etude de la qualité de l'air autour d'une chaufferie biomasse à Yutz ». Rapport d'étude
- [25] Air Pays de Loire, 2018. « Chaufferie bois de Belle-Beille à Angers. Evaluation de la qualité de l'air. Hiver 2017-2018 ». Rapport d'étude
- [26] Atmo Nouvelle-Aquitaine, 2019. « Chauffage biomasse et qualité de l'air ». Présentation
- [27] Air Pays de Loire, 2014. « Evaluation de l'impact de la combustion de biomasse sur la qualité de l'air. Campagne 2013-2014 ». Rapport d'étude
- [28] Air Pays de Loire, 2019. « Chaufferie bois de Belle-Beille à Angers. Evaluation des concentrations en poussières fines. Hiver 2019 ». Rapport d'étude
- [29] Atmo Nouvelle-Aquitaine, 2019. « Cogénération bois SDCL / DALKIA. Plan de surveillance de la qualité de l'air – 2018 ». Rapport d'étude.
- [30] Kaspar R. Daellenbach , Gaëlle Uzu , Jianhui Jiang , Laure-Estelle Cassagnes , Zaira Leni , Athanasia Vlachou , Giulia Stefenelli , Francesco Canonaco , Samuël Weber , Arjo Segers , Jeroen JP Kuenen , Martijn Schaap , Olivier Favez , Alexandre Albinet , Sebnem Aksoyoglu , Josef Dommen , Urs Baltensperger , Marianne Geiser , Imad El Haddad , Jean-Luc Jaffrezo et André SH Prévôt, 2020. « Sources de pollution atmosphérique par les particules et son potentiel oxydant en Europe », Nature le volume 587 , pages 414 – 419
- [31] AUTRET E, ADEME, 2005. Note sur « Les impacts du chauffage au bois sur la qualité de l'air intérieur et extérieur », issue de l'Appel à proposition 2005 « Recherche et Développement, innovation : chauffage domestique au bois ».
- [32] ADEME, CSTB, 2019. « Impact de l'usage d'appareils domestiques de chauffage au bois sur la qualité de l'air intérieur », CAB-QAI1 et CAB-QAI2 : « Etude de 4 appareils de technologies différentes en fonction des caractéristiques de perméabilité et de ventilation du logement ».



RETROUVEZ TOUTES
NOS **PUBLICATIONS** SUR :
www.atmonormandie.fr

Atmo Normandie

3 Place de la Pomme d'Or, 76000 ROUEN

Tél. : +33 2.35.07.94.30

Fax : +33 2.35.07.94.40

contact@atmonormandie.fr

