



évaluation de l'impact de la combustion de biomasse

sur la qualité de l'air

campagne 2013-2014

août 2014



sommaire

synthèse	1
introduction	7
contexte.....	8
la biomasse.....	8
les particules.....	11
la centrale de cogénération Biowatts	12
le dispositif mis en œuvre	13
implantations des sites de mesure	13
les autres sources potentielles dans l'environnement de Biowatts	14
moyens mis en œuvre.....	15
les résultats de la campagne de mesure.....	18
les conditions météorologiques.....	18
représentativité des niveaux en particules	19
les niveaux en particules	20
les caractérisations chimiques des particules	24
influence de la combustion de biomasse sur les niveaux de particules.....	26
influence des oxydes d'azote (NOx)	32
conclusions et perspectives	33
annexes	34
annexe 1 : « étude de traceurs de combustion de la biomasse dans l'air ambiant autour de trois chaufferies bois de la région Rhône-Alpes – AMPASEL, ASCOPARG, COPARLY – 2010 ».....	35
annexe 2 : « connaissance de l'origine des émissions dues à la combustion de la biomasse sur le secteur Grenoblois – LGGE, LCME – 2010 »	37
annexe 3 : « PARTICUL'AIR : étude inter-régionale de la pollution particulaire en zone rurale – ADEME – 2011 »	38
annexe 4 : les instruments de mesure.....	39
annexe 5 : les composants analysés	40
annexe 6 : les méthodes d'analyses	43
annexe 7 : roses de pollution moyenne en PM ₁₀ , du 08/01/2014 au 08/04/2014, avec l'épisode de pollution du mois de mars.....	44
annexe 8 : roses de pollution moyenne en PM ₁₀ , du 08/01/2014 au 08/04/2014, sans l'épisode de pollution du mois de mars.....	45
annexe 9 : roses de pollution moyenne en PM _{2,5} , du 08/01/2014 au 08/04/2014, avec l'épisode de pollution du mois de mars.....	46
annexe 10 : roses de pollution moyenne en PM _{2,5} , du 08/01/2014 au 08/04/2014, sans l'épisode de pollution du mois de mars.....	47
annexe 11 : analyses du LGGE concernant les espèces ioniques	48
annexe 12 : Air Pays de la Loire	49
annexe 13 : techniques d'évaluation	50
annexe 14 : types des sites de mesure	51
annexe 15 : polluants.....	52
annexe 16 : seuils de qualité de l'air 2014.....	53
bibliographie	54
glossaire	55
abréviations	55
définitions.....	57
précisions sur les calculs statistiques.....	57

contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : Alix Lignon, Exploitation statistique : Frédéric Penven, Mise en page : Bérangère Poussin, Exploitation du matériel de mesure : Arnaud Tricoire et équipe métrologie opérationnelle, Crédits photographies : Dalkia France, ville d'Angers et Arnaud Tricoire, Validation : Luc Lavrilleux.

conditions de diffusion

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé pour assurer la surveillance de la qualité de l'air dans la région des pays de la Loire, au titre de l'article L. 221-3 du code de l'environnement, précisé par l'arrêté du 3 août 2013 pris par le Ministère chargé de l'Écologie.

A ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Pays de la Loire est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études produits selon les règles suivantes :

Air Pays de la Loire, réserve un droit d'accès au public aux résultats des mesures recueillies et rapports produits dans le cadre de commandes passées par des tiers. Ces derniers en sont destinataires préalablement.

Air Pays de la Loire a la faculté de les diffuser selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site Internet www.airpl.org, etc...

Air Pays de la Loire ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Pays de la Loire n'aura pas donné d'accord préalable.

remerciements

Air Pays de la Loire remercie Messieurs D. Foratier (Dalkia), C. Gobin (Angers Loire Métropole) et O. Favez (INERIS) pour leur collaboration.

synthèse

contexte ➡ la combustion de biomasse, une énergie en développement

En 2011, 14 % de la production énergétique française métropolitaine (électriques et thermiques) provient d'énergies renouvelables. Près de la moitié est issue de biomasse solide (bois-énergie...) dont 80 % sont dédiés à la production de chaleur.

Selon le Grenelle de l'Environnement, d'ici 2020, 23 % des besoins énergétiques français devront être assurés par des énergies renouvelables. Pour remplir cet objectif, la France projette d'augmenter la contribution de biomasse solide (de 5,9 % en 2011 à 10,2 % en 2020) en augmentant le nombre de chaufferies collectives et industrielles utilisant la biomasse, mais aussi le nombre de logements individuels équipés d'appareils de chauffage au bois.

Selon Atlanbois, en 2009, 70 % des énergies renouvelables des Pays de la Loire proviennent de bois énergie, dont seulement 6 % sont issues des installations collectives et industrielles. A l'horizon 2020, la région prévoit de multiplier par 3,5 la quantité d'énergie obtenue à partir de ces installations, tandis que la production liée aux installations individuelles devrait se stabiliser.

Du point de vue des rejets atmosphériques, la combustion de la biomasse est considérée comme étant une énergie limitant la production de Gaz à Effet de Serre (GES). Elle est notamment considérée comme neutre pour ses émissions de CO₂. En revanche, les fumées issues de cette combustion comportent de nombreux composés réglementés (NOx, SOx, CO, particules, HAP, dioxines...).

Les particules émises pénètrent dans les voies respiratoires et ont des effets nocifs pour la santé plus ou moins importants selon leur taille. Les particules fines ont été reconnues responsables de cancers du poumon par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en 2012. Elles ont été classées dans la catégorie des cancérigènes certains par le Centre International des Recherches sur le Cancer (CIRC) en octobre 2013.

Depuis quelques années, des études se sont développées pour mieux appréhender et prévenir l'influence des émissions de combustion de bois énergie sur la qualité de l'air.

Air Pays de la Loire a pris l'initiative en 2013 d'engager une première étude dans les Pays de la Loire cofinancée par la DREAL et a sélectionné trois environnements distincts de la région : une zone de retombées maximales de la chaufferie Biowatts (centrale de cogénération la plus puissante de la région localisée au sud d'Angers), mais aussi une zone suburbaine résidentielle et une zone rurale.

objectifs ➡ apprécier la part de biomasse dans les particules

Les objectifs de cette étude portaient sur :

- la quantification des concentrations en particules issues de la combustion de biomasse dans trois environnements typiques : rural à Saint-Denis d'Anjou (53), suburbain à Angers (49) et dans la zone de retombées maximales de la chaufferie Biowatts à Angers ;
- l'évaluation de l'influence de la centrale de cogénération Biowatts et des secteurs résidentiels alentours ;
- la comparaison entre les niveaux relevés dans la région angevine et les niveaux de fond (en milieu rural).

moyens → une campagne comprenant trois stations de mesure

Trois sites de mesure ont été équipés spécialement pour la campagne de mesure d'analyseurs automatiques de particules $PM_{2,5}$ et PM_{10} ainsi que de préleveurs de particules atmosphériques. Deux sont localisés à proximité de la centrale Biowatts (Appentis, en zone de retombées maximales, et le laboratoire mobile, en zone résidentielle) et le troisième en milieu rural (Saint-Denis d'Anjou, afin de mesurer les niveaux de fond). Pour compléter ces mesures, la station Appentis a disposé d'un instrument de mesure (Aéthalomètre à sept longueurs d'ondes) permettant d'estimer la part de particules issues de la combustion de biomasse. Les données relevées sur une station mesurant les niveaux de fond urbain de la ville d'Angers (Beaux-Arts) ont par ailleurs été exploitées.

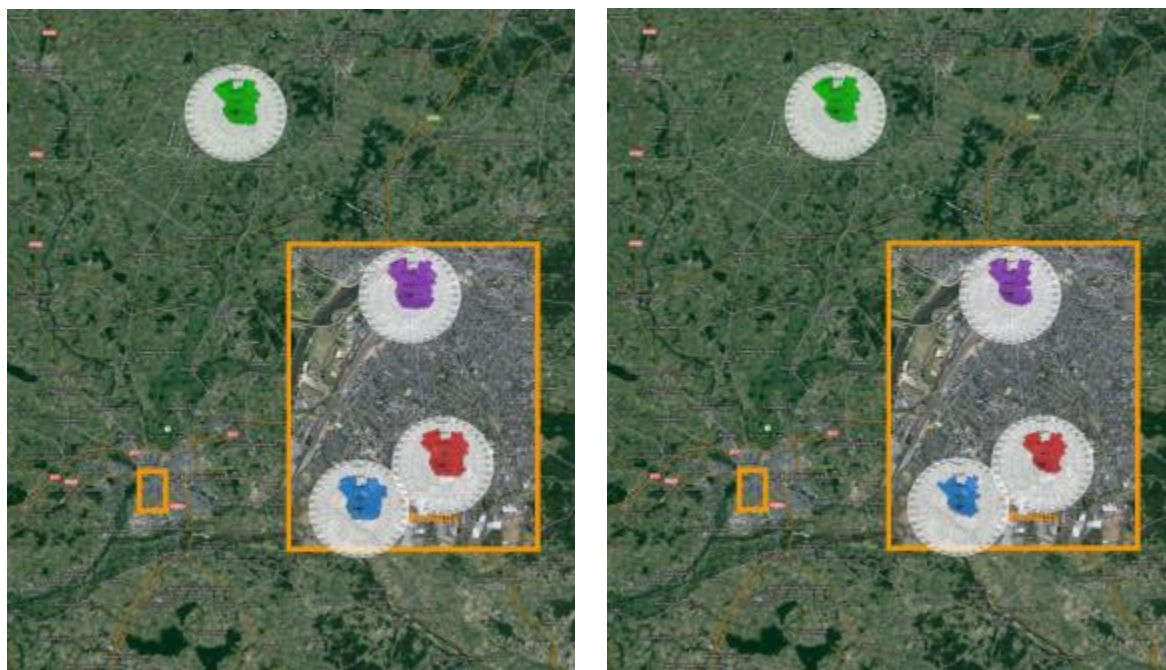
La durée des prélèvements sur filtres (du 17/01/2014 au 29/01/2014, sur les trois sites de mesure) a été écourtée en raison des conditions météorologiques peu favorables à l'accumulation et aux émissions de particules dans l'air. Les particules PM_{10} et $PM_{2,5}$ ont été mesurées en continu du 09/01/2014 au 08/04/2014 dans la zone résidentielle d'Angers (remorque), du 01/12/2013 au 23/04/2014 sur le site Appentis, et tout au long de l'année sur les deux autres sites.



Localisations des sites de mesure

résultats ➡ pas d'influence des émissions de la chaufferie sur les teneurs en poussières fines (PM_{10} et $PM_{2,5}$) lors de la période d'étude

De décembre 2013 à avril 2014, les conditions météorologiques générales (températures chaudes et vents d'ouest) ont été peu propices à la combustion de biomasse et à l'accumulation de polluants. Toutefois deux épisodes de pollution généralisés ont été enregistrés dans plusieurs régions dont les Pays de la Loire.



Roses de pollution moyennes en PM_{10} (à gauche) et $PM_{2,5}$ (à droite) du 8 janvier au 8 avril 2014

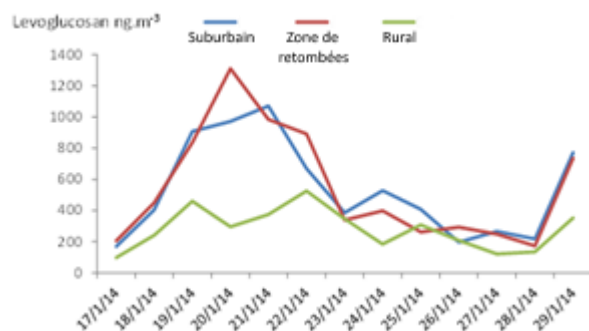
Du 8 janvier au 8 avril 2014, hormis l'épisode de pollution de mars 2014, les niveaux relevés en $PM_{2,5}$ et PM_{10} sont homogènes en fonction de la direction des vents. Toutefois, les niveaux les plus faibles sont enregistrés par vents de secteur ouest à sud-ouest (vents forts, présence de précipitations favorisant la dispersion et les dépôts de poussières).

Les roses de pollution suggèrent qu'aucune influence des émissions de la chaufferie n'est visible sur les teneurs en $PM_{2,5}$ et PM_{10} mesurées dans son environnement.

Les niveaux homogènes relevés par les stations montrent un niveau de fond urbain comparable au niveau de fond rural. Ainsi, ces roses de pollution sont représentatives du niveau de fond régional en PM_{10} et $PM_{2,5}$.

résultats ➤ les traceurs de la combustion de biomasse

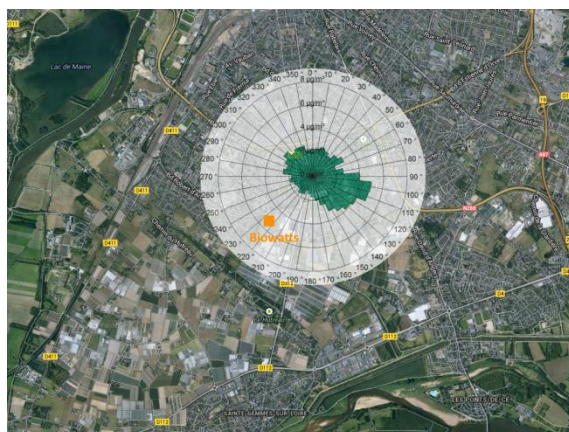
Les analyses réalisées dans la fraction fine de l'aérosol (PM_{10}) par le Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement auquel Air Pays de la Loire les avaient confiées ont révélé une influence plus marquée de la combustion de biomasse sur les deux sites urbains par rapport au site rural. Ceci, par l'intermédiaire des profils temporels de ses traceurs et indicateurs (lévoglucosan, mannosan, galactosan, OC, EC et K).



Evolution temporelle des concentrations en lévoglucosan entre le 17 et le 29 janvier 2014 (moyennes journalières)

Les concentrations sont liées aux zones urbaines avoisinantes. L'influence de la chaufferie n'est pas visible sur les teneurs en traceurs issus de la combustion de biomasse. En effet, aucune différence n'est constatée entre les sites localisés respectivement à l'est et à l'ouest. Et ce, quelle que soit la direction du vent.

résultats ➤ pas d'influence des émissions de la chaufferie sur les teneurs en poussières fines issues de la combustion de biomasse (PM_{wb})



Rose de pollution moyenne en PM_{wb} du 13/12/2013 au 23/04/2014

Au cours de cette campagne, les concentrations en particules issues de la combustion de biomasse et en particules fines sont faibles. Cependant, les niveaux les plus élevés en PM_{wb} (ne dépassant pas $4 \mu g/m^3$) sont enregistrés par vents de sud-est. Ce qui indique une influence probable des zones résidentielles localisées dans cette direction.

La rose ne montre pas d'influence particulière par vent de sud-ouest. Ceci suggère que les émissions de la chaufferie n'ont aucun effet sur les teneurs en PM_{wb} mesurées dans son environnement.

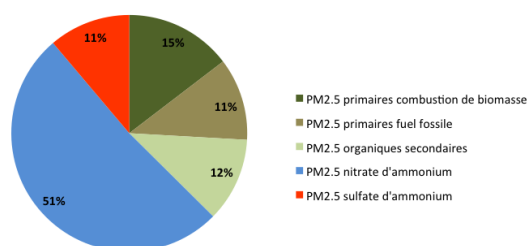
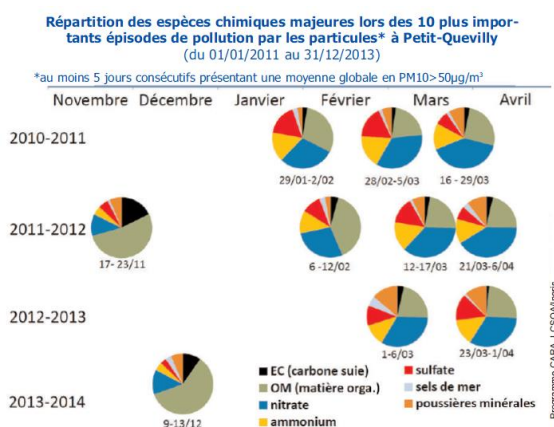
En prenant en compte les épisodes de pollution, les parts de particules issues de la combustion de biomasse varient entre 2 et 51 % des PM_{10} , avec une moyenne de 17 %. Ainsi, sur l'ensemble des mois de décembre 2013, et janvier, février, mars 2014, la combustion de biomasse représente une source non négligeable en particules.

résultats → 2 épisodes de pollution généralisés aux caractéristiques différentes

De décembre 2013 à avril 2014, plusieurs régions dont les Pays de la Loire ont connu deux épisodes de pollution aux particules.

En décembre, la chute des températures a entraîné une surconsommation du chauffage domestique et ainsi participé à une augmentation des émissions en particules.

Dans les deux cas, des conditions météorologiques anticycloniques ont persisté pendant plusieurs jours sur la France, favorisant l'accumulation de poussières fines dans l'atmosphère.



Répartition des espèces chimiques majeures lors des 10 plus importants épisodes de pollution par les particules Petit-Quevilly

(Sources : Airnormand, programme CARA, LCSQA/Ineris)

Composition chimique des particules PM_{2,5} mesurées en périphérie de Paris durant l'épisode de pollution particulaire de mars 2014 (Source : LSCE)

Les profils chimiques mettent en évidence que les épisodes hivernaux sont liés aux combustions de biomasse, trafics et industries, tandis que les épisodes printaniers sont liés aux nitrates et sulfates d'ammonium.

conclusions et perspectives ➡

Sur l'ensemble de la campagne de mesure, les niveaux en particules sont faibles compte tenu des conditions météorologiques favorables à leur dispersion et à leur dépôt. Il y a deux exceptions correspondantes aux pics de pollution particulaire de décembre 2013 et mars 2014.

Dans l'environnement de Biowatts, il n'y a pas d'impact visible des émissions de la chaufferie sur les concentrations en particules issues de la combustion de biomasse, en $PM_{2,5}$ et en PM_{10} , ni sur les traceurs spécifiques de la combustion de biomasse.

En comparant les niveaux ruraux et urbains, on observe en zone urbaine une influence plus marquée de la combustion de biomasse en provenance du chauffage résidentiel.

Concernant les deux épisodes de pollution particulaire, il s'agit de pollution généralisée sur une partie du territoire français. Les conditions météorologiques anticycloniques ont entraîné en décembre une chute des températures. Ce qui a provoqué une surconsommation du chauffage domestique et ainsi participé à une augmentation des émissions en particules. En mars, ces mêmes conditions ont favorisé l'accumulation de nitrates et sulfates d'ammonium utilisés pour les épandages agricoles.

En 2015, Air Pays de la Loire élargira cette étude relative à l'influence de la combustion de biomasse sur la qualité de l'air, par un suivi de la caractérisation chimique de l'aérosol. Dans ce cadre Air Pays de la Loire intégrera le réseau national CARA (dispositif de surveillance des particules en France, géré par le LCSQA). L'objectif est de disposer sur la façade ouest de la France, d'informations fines sur la composition chimique des particules afin notamment d'estimer les secteurs émetteurs majeurs en cas d'épisode de pollution. De manière générale, Air Pays de la Loire déploiera à compter de 2015 une stratégie de développement de la caractérisation des particules fines, dans un contexte d'impact sanitaire avéré de ces polluants et d'augmentation des situations d'épisodes de pollution particulaires depuis que les seuils ont été rendus plus sévères.

Sur la question spécifique de l'impact de la combustion de biomasse, de nouvelles études pourraient également être menées sur des installations moins puissantes que Biowatts et non soumises à réglementation afin de disposer d'un panel de situations en matière d'émissions de chaufferies.

introduction

Dans le but de réduire notre dépendance de production d'énergie à partir de matières fossiles ainsi que les émissions de gaz à effet de serre, le développement de la filière bois est en pleine expansion. En France, la combustion du bois, avec une part majeure provenant du secteur domestique, représente près de 40 % des émissions de particules fines $PM_{2,5}$ (Source CITEPA, 2011). En causes notamment, les mauvaises conditions d'utilisation des combustibles ainsi que l'ancienneté du parc d'appareils de chauffage (avec de faibles rendements énergétiques).

Depuis quelques années, des études se sont développées (cf. : annexes 1, 2 et 3) pour mieux appréhender et prévenir l'influence des émissions de combustion de bois-énergie sur la qualité de l'air. Certaines mettent en valeur la saisonnalité de cette source, tandis que d'autres s'intéressent aux traceurs et aux profils chimiques des particules afin de déterminer leurs sources et combustibles (chaufferies industrielles et collectives, chauffages particuliers, foyers fermés, bois énergie, granulés ou plaquettes de bois...).

Dans cette étude visant à évaluer l'impact de la combustion de biomasse sur la qualité de l'air, Air Pays de la Loire a sélectionné trois environnements distincts de la région : une zone de retombées maximales de la chaufferie Biowatts (centrale de cogénération la plus puissante de la région localisée au sud d'Angers), mais aussi une zone suburbaine résidentielle (à Angers) et une zone rurale (à Saint-Denis d'Anjou) afin d'apprécier l'influence éventuelle des émissions de la chaufferie Biowatts, du chauffage domestique et situer les mesures par rapport au niveau de fond. Des instruments de mesure ont été installés dans ces stations afin de :

- quantifier les concentrations en particules issues de la combustion de biomasse dans ces trois environnements ;
- évaluer l'influence de la centrale de cogénération Biowatts et des secteurs résidentiels alentours ;
- comparer les niveaux relevés dans l'agglomération angevine avec les niveaux de fond (en milieu rural).

Ce document développe la démarche et les résultats de la campagne de mesure.

contexte

la biomasse

la valorisation énergétique de la biomasse

D'un point de vue énergétique, la biomasse regroupe l'ensemble des matériaux d'origine biologique susceptibles d'être collectés et employés pour la production de chaleur, d'électricité ou de carburant. Elle se décompose en trois grandes catégories : la biomasse solide, les biogaz et les biocarburants.

La biomasse solide prend en compte les matières organiques telles que le bois-énergie, les résidus solides des récoltes, la paille, les grappes de maïs, la bagasse de canne à sucre...

Le terme bois-énergie est valable pour toute application utilisant le bois en tant que combustible. La combustion du bois génère de l'énergie thermique (chaleur). Cette quantité de chaleur dégagée définit le pouvoir calorifique du bois qui est variable selon les essences (par exemple, le chêne, le frêne, le hêtre sont des essences à fort pouvoir calorifique contrairement au bouleau, au peuplier, au sapin...). L'énergie calorifique peut être valorisée par la production d'eau chaude, de chauffage ou encore d'électricité.

les émissions liées à la combustion de biomasse

Du point de vue des rejets atmosphériques, la combustion de la biomasse est considérée comme étant une énergie limitant la production de Gaz à Effet de Serre (GES). En effet, en prenant en considération les émissions en CO_2 , la quantité libérée lors de la combustion de biomasse correspond à celle absorbée par les végétaux pendant leur croissance (à l'inverse des combustibles fossiles qui n'absorbent pas de CO_2). Ainsi cette énergie est jugée comme neutre pour ses émissions de CO_2 . En revanche, les fumées issues de cette combustion comportent de nombreux polluants atmosphériques (NO_x , SO_x , CO, particules, HAP, dioxines...). La production de ces composés provient de la combustion incomplète du bois, dépendante de la qualité (humidité...) et de la composition du combustible et du bon réglage des installations.

Sur le plan des émissions nationales (CITEPA 2011), le bois-énergie ne constitue pas une source majeure en dioxyde de soufre (SO_2) et oxydes d'azote (NO_x) (environ 2 %), ni en dioxines (environ 10 %). En revanche, sa contribution est plus importante vis-à-vis des particules fines (27 % pour les PM_{10} et 40 % pour les $\text{PM}_{2,5}$), des Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM, 22 %), du monoxyde de carbone (CO, 31 %), et des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP, 77 %). Principalement mis en cause, le secteur domestique. En effet, 85 % de la consommation française en bois énergie provient du chauffage domestique. Celui-ci comprend un important parc d'appareils anciens peu performants, ayant des rendements inférieurs à 40 %, ainsi que de nombreux foyers ouverts avec des rendements pouvant être inférieurs à 10 %.

les enjeux

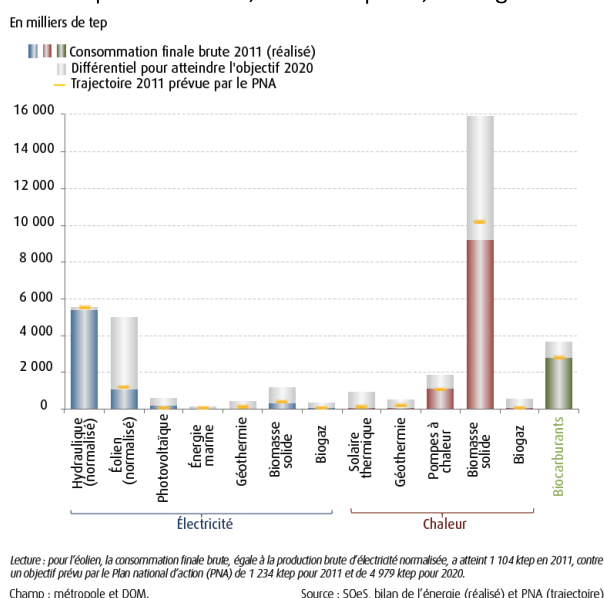
La biomasse est la plus ancienne source d'énergie utilisée par l'Homme. Grâce à celle-ci, il a pu maîtriser le feu pour découvrir la cuisson, s'éclairer et se chauffer. Au fil du temps l'Homme a développé de nombreux procédés dans le but d'améliorer ses techniques. Il a ainsi modernisé les méthodes de chauffage par l'intermédiaire des cheminées à foyer ouvert, des poêles, des inserts, des cheminées à foyer fermé...

De nos jours, la combustion de biomasse reste la principale énergie renouvelable utilisée dans le monde pour la cuisson (de nourriture) et le chauffage, notamment dans les pays peu industrialisés. Avec les différentes crises économiques, écologiques et énergétiques, certains pays, comme la France, se tournent maintenant vers les énergies renouvelables (énergie dont la source se régénère plus rapidement qu'elle ne se consomme) pour produire de la chaleur et de l'électricité.

La surface des forêts françaises est de 16,4 millions d'hectares (Sources : l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière, IGN), ce qui en fait l'une des plus importantes d'Europe. Son accroissement de 0,6 % par an permet de considérer le bois comme une énergie renouvelable en France.

En 2011, 14 % de la production énergétique française métropolitaine (électriques et thermiques) provenaient d'énergies renouvelables, dont 46 % de bois-énergie, 20 % d'hydraulique, 10 % de biocarburants, 7 % de pompes à chaleur et les 17 % restants des autres filières (déchets renouvelables, éolien, géothermie...). Parmi ces productions primaires d'énergies renouvelables, le bois-énergie contribue à 2,4 % de la production électrique (contre 70,5 % pour l'hydraulique) et 79,5 % de la production de chaleur (Source : Commissariat Général au Développement Durable, Chiffres clés des énergies renouvelables, Edition 2013).

Avec le Grenelle de l'Environnement, la France a pour objectif d'assurer 23 % de ses besoins énergétiques par des énergies renouvelables d'ici 2020. Ainsi, elle projette d'augmenter la contribution de biomasse solide dans la consommation finale brute d'énergie de 5,9 % en 2011 à 10,2 % en 2020. Pour cela, il est prévu d'une part d'augmenter le nombre de chaufferies collectives et industrielles utilisant la biomasse, mais aussi le nombre de logements individuels équipés d'appareils de chauffage au bois, et d'autre part, de renouveler le parc d'appareils de chauffage domestique vieillissant. En parallèle, en 2007, le gouvernement a mis en place le plan particules visant à diminuer (d'ici 2015) de 30 % les émissions en particules PM_{2,5} dans les secteurs de l'industrie, du chauffage domestique et tertiaire, des transports, de l'agriculture et en cas de pics de pollution.



Graphique 1 : consommation finale brute d'énergies renouvelables : situation en 2011 et objectifs 2020, par filière

Les Pays de la Loire ne constituent pas une région forestière, car seulement 11% de la surface du territoire régional sont boisés. En revanche, la région est la seconde en termes d'activités de transformation du bois. La filière bois est le troisième secteur industriel de la région employant 30 000 personnes (Source : Atlanbois).

D'après une enquête menée par Atlanbois, en 2009, le bois-énergie est principalement exploité sous forme de bûches pour les cheminées du secteur résidentiel. Dans les Pays de la Loire, environ 400 000 foyers consomment 80 % du bois valorisé sous forme d'énergie. Ce qui correspond à près d'un million de tonnes de bois par an (équivalent à 320 ktep/an (kilo tonnes équivalent pétrole par an)). Les ressources bois-énergie proviennent de la ressource forestière et bocagère, des déchets industriels banals et de l'industrie de transformation du bois.

En dehors des installations individuelles, dans la région, environ une centaine d'installations bois-énergie consomment près de 160 000 tonnes de bois par an et représentent une production énergétique de 40 ktep/an.

En 2009, dans la région des Pays de la Loire, le bois énergie représente donc 360 ktep/an, soit 70 % des énergies renouvelables produites. Ce qui en fait l'énergie renouvelable prédominante de la région.

Atlanbois a par ailleurs recensé les sources de biomasse pouvant être mobilisées pour la filière bois-énergie (plaquettes forestières, résidus de l'industrie du bois, haies bocagères...). Cette étude a permis de fixer des objectifs régionaux de développement à l'horizon 2020 : 140 ktep/an, selon l'hypothèse nationale de stabilisation de la production liée aux installations individuelles (320 ktep/an), et d'augmentation de 100 ktep/an par rapport à 2009 pour les installations industrielles et collectives.

la réglementation applicable aux installations de combustion de la biomasse

Des valeurs limites d'émission (VLE) sont imposées aux chaufferies en fonction de leur puissance.

Pour le chauffage individuel, il n'existe pas de réglementation sur les émissions des appareils indépendants. En 2000, l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) et les fabricants d'appareils domestiques ont lancé le label « Flamme Verte ». Les appareils indépendants Flamme Verte (inserts et foyers fermés, poêles, chaudières et cuisinières) garantissent un meilleur rendement (de 40 % avant 2000 à plus de 70 % actuellement) ainsi qu'une diminution des émissions de polluants (taux maximum de CO inférieur à 0,3 % du volume des fumées). Pour les chaudières, selon le type de chargement (manuel ou automatique), le label impose un rendement supérieur à 80 ou 85 %, un taux maximum de CO (5000 ou 3000 ppm (parties par million)), un taux maximum de COV (150 ou 100 ppm) et un taux maximum de poussières (150 mg/m³ à 10 % d'O₂).

Pour le chauffage collectif, les installations de plus de 2 MW (Méga Watts), sont réparties dans deux catégories : celles dont la puissance est comprise entre 2 MW et 20 MW, et celles dont la puissance est supérieure à 20 MW. Des sous-catégories regroupent ensuite les chaufferies en fonction des combustibles utilisés. Les installations sont alors encadrées par différentes rubriques de la réglementation ICPE. La chaufferie est soumise à déclaration si sa puissance est comprise entre 2 et 20 MW, ou autorisation si sa puissance est supérieure à 20 MW.

Depuis plusieurs années, des réglementations de plus en plus restrictives sont mises en place. Par exemple, l'arrêté du 26/08/2013 modifie l'arrêté du 25/07/1997 relatif aux prescriptions générales applicables aux ICPE soumises à déclaration sous la rubrique n°2910 (installations de combustion dont la puissance P : 2 MW < P < 20 MW). Il réduit les valeurs limites de rejet de polluants dans l'air et fait passer la mesure périodique de la pollution rejetée de trois à deux ans.

VLE en mg/Nm ³	Arrêté du 25/07/1997 (< 20 MW déclaration)	Arrêté du 20/06/2002 (> 20 MW autorisation)	Arrêté du 26/08/2013 (2 MW < P < 20 MW)
Taux O ₂ dans les fumées	11%	6%	6%
CO	250	20 MW < P < 100 MW : 200 100 MW < P : 150	250
NO _x	500	20 MW < P < 100 MW : 400 100 MW < P < 300 MW : 300 100 MW < P : 30	525 (équiv. NO ₂)
COV	50 (équiv. CH ₄)	110 (en carbone total)	50 (en carbone total)
Poussières	2 MW < P < 4 MW : 150 4 MW < P < 20 MW : 100	20 MW < P < 100 MW : 50 100 MW < P : 30	50
HAP	-	0,1	0,1
SO ₂	200	200	SO _x : 225 (équiv. SO ₂)
Métaux	-	Variable selon métal et puissance	Variable selon métal et puissance

Tableau 1 : réglementations en vigueur relatives aux émissions en polluants appliquées aux installations de combustion de biomasse

Les installations de moins de 2 MW ne sont pas encadrées par la législation ICPE, mais par un règlement sanitaire départemental. En général, elles n'ont pas de VLE, mais dans son système d'aides financières, l'ADEME leur impose une VLE en particules égale à 50 mg/Nm³ (à 11 % d'O₂).

les particules

les caractéristiques

Les particules atmosphériques regroupent les particules « primaires », directement émises dans l'atmosphère par des sources naturelles (embruns marins, volcanisme, érosion des sols...) ou anthropiques (trafics routier, maritime..., chauffage, industries, combustions de biomasse...), et les particules « secondaires », issues de transformations chimiques dans l'air à partir de précurseurs gazeux (oxydes d'azote, oxydes de soufre, composés organiques volatils...).

Selon leurs origines, les particules peuvent avoir des compositions, des formes et des tailles variées. Leur diamètre permet de les classer et de déterminer l'importance de leur impact sur l'organisme. Les particules dont le diamètre est inférieur à 10 μm (PM_{10}) sont stoppées par l'organisme au niveau de la trachée, des artères voire des bronches. Les $\text{PM}_{2,5}$ (dites particules fines, dont le diamètre est inférieur à 2,5 μm) pénètrent à l'intérieur des bronches et bronchioles. Les particules encore plus petites ($\text{PM}_{1,0}$ et $\text{PM}_{0,1}$) pénètrent quant à elle jusqu'aux alvéoles pulmonaires. Leur taille permet également aux particules de rester plus ou moins en suspension dans l'air. En effet, les grosses particules (dont le diamètre est supérieur à 10 μm) ont une durée de vie courte et sont présentes principalement à proximité de leurs sources. En revanche, les particules fines parcourent de plus longues distances pendant des jours voire des semaines.

La composition chimique des particules est variable selon le temps passé dans l'atmosphère tout comme les zones géographiques traversées. Les principaux composés sont des composés carbonés, des composés minéraux et des sels (chlorure de sodium, calcium...), des composés inorganiques (sulfates, nitrates...), des métaux, des pollens...

les effets sanitaires

Les $\text{PM}_{2,5}$ pénètrent plus profondément que les PM_{10} dans les voies respiratoires. De ce fait, leurs effets sont plus nocifs pour la santé. De plus, les composés les plus toxiques font généralement partie de la fraction fine des particules.

Les particules fines ont été reconnues responsables de cancers du poumon par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en 2012. Elles ont été classées dans la catégorie des cancérigènes certains par le Centre International des Recherches sur le Cancer (CIRC) en octobre 2013.

Que l'exposition aux particules soit courte ou longue, à fortes ou faibles concentrations, elles ont des effets néfastes pouvant être à l'origine de pathologies pulmonaires (asthme...) ou de risques cardio-vasculaires (infarctus, angine de poitrine, troubles cardiaques...). Les enfants, les personnes âgées ainsi que les personnes souffrant de maladies respiratoires ou cardiovasculaires sont les plus sensibles à ces effets.

La composition chimique des particules, est l'un des principaux facteurs intervenant au niveau des effets sanitaires. D'après certaines études (Mar et al., 2000 à Phoenix – USA ; Gan et al., 2001 à Vancouvers – Canada ; Ito et al. A New York – USA ; Peng et al, 2009 sur plus d'une centaine de villes des USA ; Ostro et al., 2007), le carbone élémentaire serait responsable de troubles cardiovasculaires et respiratoires pour des expositions à courtes et longues durées.

la réglementation

Pour les particules les recommandations de l'OMS distinguent les PM_{10} des $\text{PM}_{2,5}$. Elles concernent des niveaux d'exposition (concentrations et durées) au-dessous desquelles il n'a pas été observé d'effets nuisibles sur la santé humaine ou sur la végétation.

Au sujet des PM_{10} , l'OMS préconise des valeurs guides (moyennes) de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ d'air sur une durée de 24 heures, et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ d'air sur une durée d'une année.

Quant aux $\text{PM}_{2,5}$, les valeurs guides sont de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ d'air sur une durée de 24 heures, et 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ d'air sur une durée d'une année.

Les valeurs recommandées sur une durée d'une journée, ne devant pas être dépassée plus de trois jours par an.

Ces préconisations de l'OMS inspirent les directives européennes qui sont transposées dans la réglementation française. Celle-ci définit deux seuils, le premier de recommandation et d'information, et le second d'alerte, ainsi que des valeurs limites et des objectifs de qualité (cf. : annexe 16).

Actuellement, seules les PM_{10} sont soumises à des seuils d'information : 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et d'alerte : 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. D'ici 2015, la valeur limite pour les $\text{PM}_{2,5}$ passera de 26 à 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et une valeur cible de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ devra être respectée.

la centrale de cogénération Biowatts

La cogénération consiste à produire simultanément deux énergies différentes dans un même processus. Dans le cas présent, il s'agit de produire de l'énergie électrique et de l'énergie thermique à partir d'un combustible unique, la biomasse. Ceci est possible grâce à la vapeur produite par la chaudière qui fait à la fois chauffer l'eau des réseaux de chaleur et active une turbine à condensation qui fait tourner un alternateur, produisant ainsi de l'électricité.

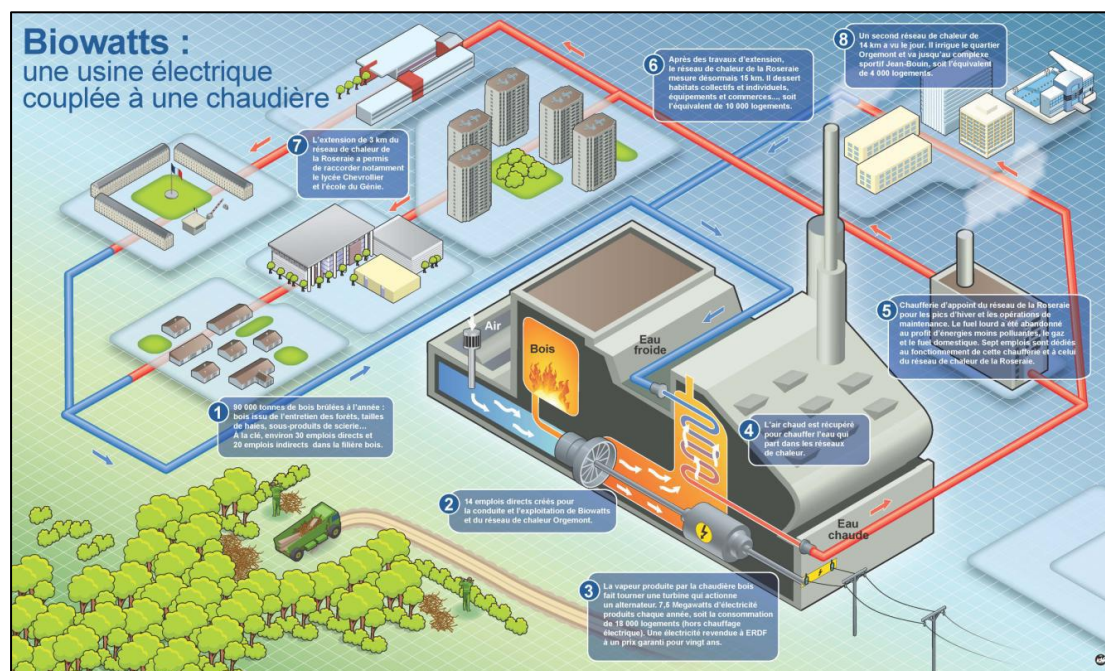


Figure 1 : principe de fonctionnement de la centrale Biowatts

Avec une puissance thermique valorisable de 23 000 mégawatts thermiques, Biowatts est destinée à alimenter les réseaux de chaleur de La Roseraie et du quartier d'Orgemont (soit 29 kilomètres de réseaux souterrains) et ainsi fournir de la chaleur à 14 000 logements (soit 40 000 angevins). Grâce à la cogénération, la centrale produit également de l'électricité, 50 000 mégawatts heures produits chaque année (l'équivalent à la consommation de 18 000 logements (hors chauffage électrique)) et revendus à ERDF.

Pour cela, la centrale utilise 90 000 tonnes de bois-énergie par an sous forme de copeaux de bois non-traités.

Dans la perspective de réduction des émissions en polluants, Biowatts utilise un bois non traité et est équipée de systèmes de traitements des fumées à base de filtres à manches. Les particules sont récupérées dans des big-bag, des bennes étanches ou dans des silos (séparément des cendres). Ce système de filtration permet d'atteindre des taux de poussières à l'émission inférieurs à 20 mg/Nm³, imposés par la réglementation (arrêtés préfectoraux).

Afin d'évaluer l'influence de Biowatts, l'implantation des sites de mesure est déterminée à partir de l'étude d'impact (zone de retombées maximales) réalisée par le bureau d'étude Impact et Environnement.

le dispositif mis en œuvre

Pour évaluer l'influence potentielle de la chaufferie Biowatts et du chauffage domestique des zones résidentielles, trois stations de mesure ont été aménagées afin d'accueillir les instruments de mesure. Leurs implantations ont tenu compte à la fois des vents dominants et de la zone de retombées maximales des émissions de la chaufferie.

implantations des sites de mesure

les données météorologiques

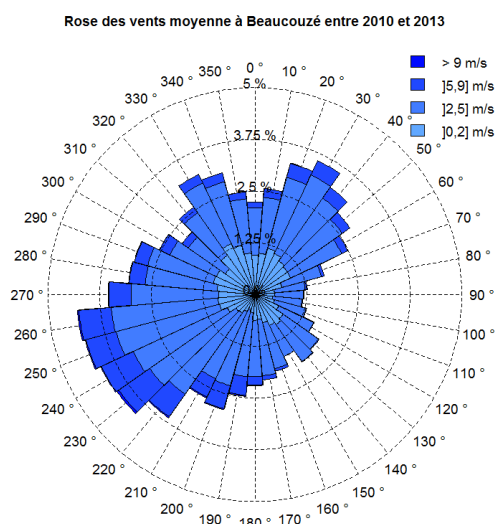


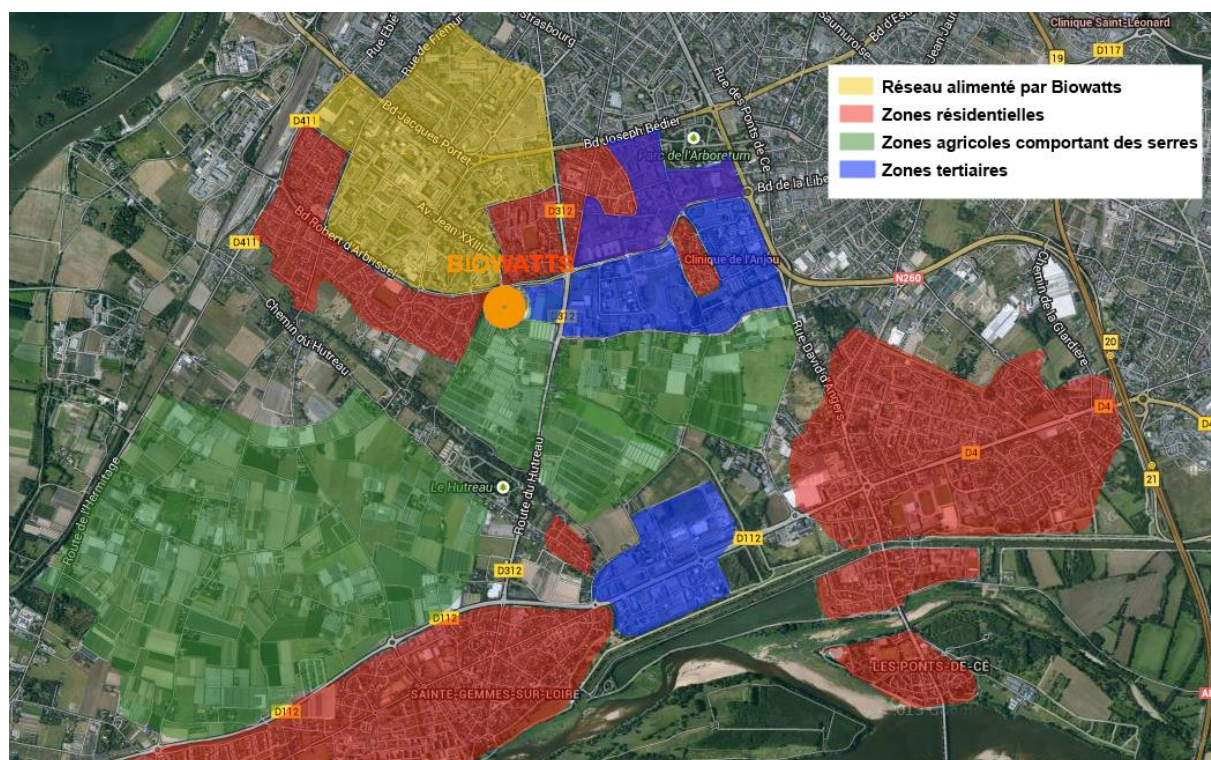
Figure 2: rose des vents moyenne entre 2010 et 2013

Cette rose des vents moyennée sur quatre ans indique que les vents dominants au niveau de la station météorologique de Beaucouzé à l'ouest d'Angers, qui sont également les plus forts, proviennent du secteur ouest-sud-ouest, en provenance de l'océan. Les vents de terre, du secteur nord-est sont également fréquents.

les autres sources potentielles dans l'environnement de Biowatts

Dans le cadre de cette étude, les émissions du secteur domestique sont également à prendre en compte. Cependant, aucun questionnaire spécifique n'a été distribué dans l'environnement de Biowatts afin de recenser le type de chauffage utilisé. A titre d'information, la principale source potentielle en particules (issues de la combustion de la biomasse) correspond au secteur domestique, avec plus de 85 % de la consommation nationale de bois.

Les différents types d'activités autour de la centrale, sont représentés sur la carte suivante :



Carte 1 : implantations des différentes activités autour de Biowatts

La centrale est située juste à côté d'une zone résidentielle (au nord) et d'une zone pavillonnaire (à l'ouest) ainsi que d'une zone agricole, comportant de nombreuses serres chauffées (au sud), et d'une zone tertiaire (à l'est).

moyens mis en œuvre

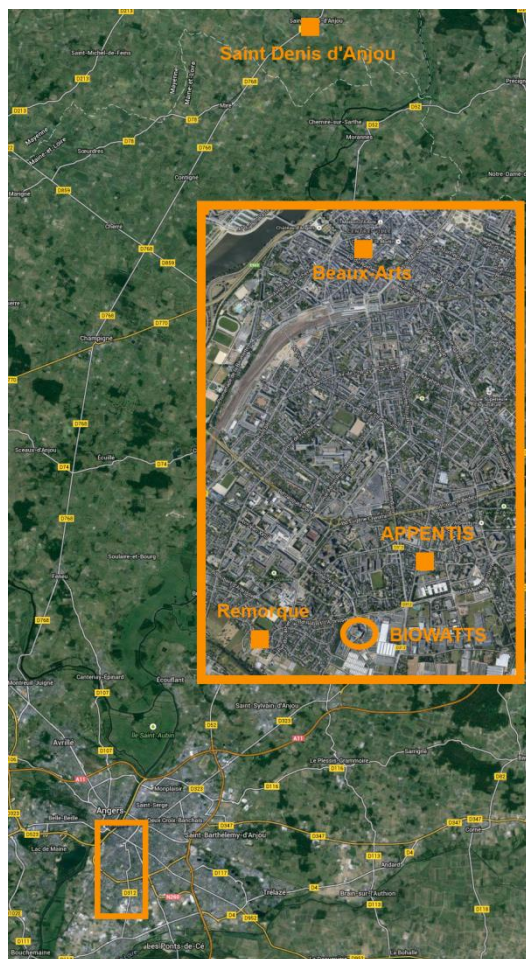
les sites de mesure

D'après les éléments précédents, trois sites de mesure ont été instrumentés dans le cadre de cette campagne. Parmi ceux-ci, le site urbain Appentis à Angers et le site rural de Saint-Denis d'Anjou en Mayenne sont des sites permanents d'Air Pays de la Loire, tandis que le dernier est une station mobile (laboratoire mobile). Les données relevées par la station de mesure localisée dans le jardin des Beaux-Arts à Angers (site urbain faisant partie du réseau de mesure régional) ont également été utilisées dans cette étude.

Station	Adresse	Distance de Biowatts	Polluants mesurés	Site
Appentis	Chemin haut de l'Appentis 49000 Angers	700 m NE	PM _{2,5} PM ₁₀ Black Carbon NOx	
Remorque	45-47, rue du Lierre 49000 Angers	700 m O ¼ SO	PM _{2,5} PM ₁₀ NOx	
Saint Denis d'Anjou	4-6, rue des Vignerons 53290 Saint Denis d'Anjou	39,35 km N ¼ NE	PM _{2,5} PM ₁₀ NOx	
Beaux-Arts	Jardin des Beaux-Arts 49000 Angers	2,9 km Nord	PM _{2,5} PM ₁₀ NOx	

Tableau 2 : description des stations de mesure

Le premier site, Appentis, est localisé sous les vents dominants, au nord-est de Biowatts, pour permettre la mesure des émissions potentielles de la chaufferie par vent de sud-ouest. Afin de mesurer les apports en particules des zones résidentielles environnantes et l'impact potentiel de la chaufferie par vent d'est, une station mobile a été placée dans une zone pavillonnaire du quartier de la Roseaie à l'ouest de la chaufferie et donc sous les vents d'est de l'établissement. Enfin, la station rurale de Saint-Denis d'Anjou, mesure les niveaux de fonds.



Carte 2 : localisation des stations de mesure

les mesures de polluants

Afin de mesurer les évolutions des concentrations en $PM_{2,5}$ et PM_{10} , en continu, toutes les stations sont équipées d'analyseurs automatiques TEOM-FDMS (utilisant la méthode de pesée par microbalance à variation de fréquence d'oscillation, cf. : annexe 4).

Les mesures d'oxydes d'azote (NO_x) sont assurées par différents modèles d'appareils de mesure, tous utilisant la technique de chimiluminescence (norme NF EN 14211).

Pour compléter ces mesures, un aéthalomètre AE-33 (cf. : annexe 4), mesurant en continu les concentrations en Black Carbon, a été installé dans la station d'Appentis. A partir du Black Carbon sont estimées la fraction $PM_{2,5}$ des particules provenant de la combustion de biomasse et celle issue de la combustion de combustibles fossiles.

De plus, des prélèvements de particules atmosphériques ont été réalisés sur des filtres à l'aide de collecteurs DIGITEL DA-80 (cf. : annexe 4).

Les filtres prélevés sur les trois sites ont, par la suite, été envoyés au LGGE (Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement) pour analyses.

Les résultats du LGGE, sur les particules étaient relatifs aux composés suivants (cf. : annexes 5 et 6) :

- les espèces ioniques (NO_3 , SO_4 , NH_4 , Cl , Na , Mg , K et MSA (Methane Sulfonic Acid)) ;
- les composantes carbonées (OC et EC) ;
- les traceurs de la biomasse (lévoglucosan, mannosan et galactosan).

les périodes de mesure

Les sites fixes de Saint-Denis d'Anjou et du jardin des Beaux-Arts d'Angers mesurent les $PM_{2,5}$, les PM_{10} et les NO_x en continu. Quant au site fixe d'Appentis, les mesures en continu portent sur les NO_x et l'ozone (O_3). Il a spécialement été équipé pour la campagne en analyseurs automatiques TEOM-FDMS et aéthalomètre AE-33.

Station	NO_x	$PM_{2,5}$ PM_{10}	Black Carbon	Analyses sur filtres
Appentis	En continu	Du 01/12/2013 au 23/04/2014	Du 13/12/2013 au 27/05/2014	Du 17/01/2014 au 29/01/2014
Remorque	Du 09/01/2014 au 08/04/2014	Du 09/01/2014 au 08/04/2014	/	Du 17/01/2014 au 29/01/2014
Saint Denis d'Anjou	En continu	En continu	/	Du 17/01/2014 au 29/01/2014
Beaux-Arts	En continu	En continu	/	/

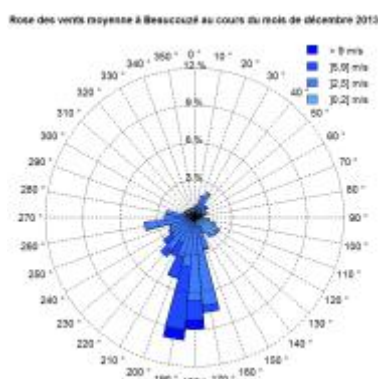
Tableau 3 : périodes de mesure des différents polluants sur les quatre sites

Initialement prévus sur 45 jours, la période de prélèvement sur filtre a été réduite à 13 jours en raison de conditions météorologiques peu propices à la combustion du bois.

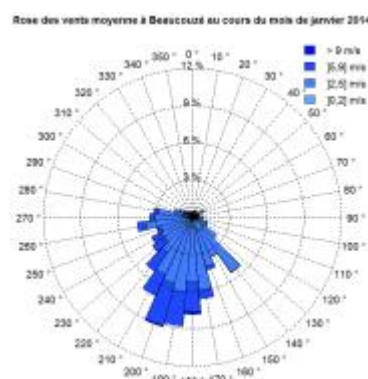
les résultats de la campagne de mesure

les conditions météorologiques

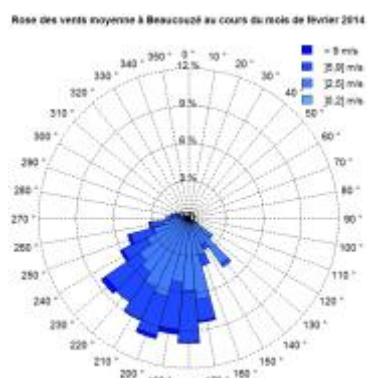
Les données météorologiques ont été obtenues à partir des informations recueillies (vitesse, direction des vents et températures) par la station Météo-France située à Beaucouzé (à l'ouest d'Angers), et les bulletins mensuels établis par Météo-France.



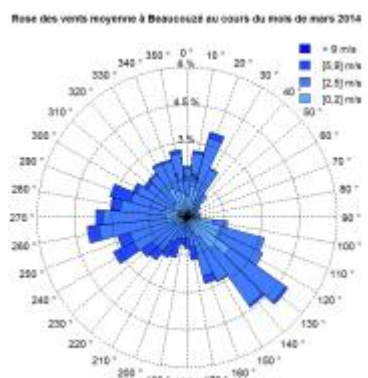
Température moyenne : 6,6°C
Mois de décembre 2013



Température moyenne : 8,0°C
Mois de janvier 2014



Température moyenne : 8,6°C
Mois de février 2014



Température moyenne : 9,7°C
Mois de mars 2014

Figure 3 : roses des vents moyennes mensuelles

Les températures moyennes mensuelles relevées sur la période de mesure de décembre 2013 à mars 2014 sont toutes supérieures aux températures normales saisonnières. Sur l'ensemble de la campagne, la température moyenne mesurée (8,2°C) est supérieure à la température normale moyennée sur les mois de décembre, janvier, février et mars (6,5°C) d'environ 1,7°C.

Sur ces quatre mois de prélèvements, un nombre d'heures d'ensoleillement cumulées (482,7 heures) plus important, mais également des hauteurs de précipitations cumulées (310,4 mm) plus élevées que les valeurs normales (respectivement 367 heures et 247,6 mm) ont été enregistrés.

La présence de vents forts océaniques est notable entre décembre et février avec la présence de trois tempêtes (une en décembre et deux en février) apportant de nombreuses perturbations.

L'arrivée de l'anticyclone des Açores au mois de mars procure plus de 200 heures d'insolation ainsi que des températures dépassant les 20°C en journée.

Sur l'ensemble de la campagne, la prédominance des vents en provenance de l'Atlantique est observable. La station Appentis a donc été le plus souvent sous les vents de la chaufferie (14 % du temps) par comparaison au site de la rue du Lierre (2 % du temps).

Rose des vents moyenne à Beaucouze du 1^{er} décembre 2013 au 31 mars 2014

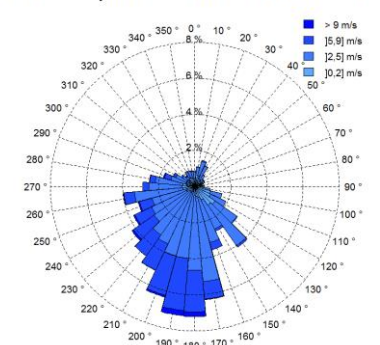
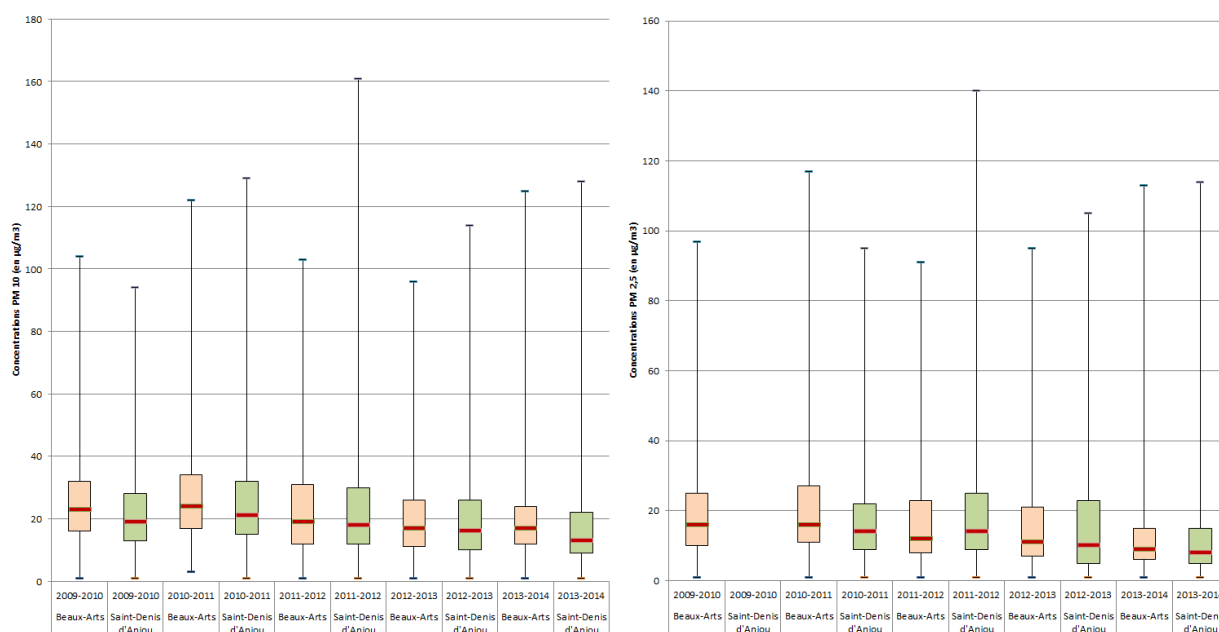


Figure 4 : rose des vents moyenne du 1^{er} décembre 2013 au 31 mars 2014

représentativité des niveaux en particules



Graphique 2 : évolutions des concentrations moyennes en PM₁₀ (à gauche) et PM_{2,5} (à droite) sur le site du jardin des Beaux-Arts depuis 2010 sur la période de décembre à mai

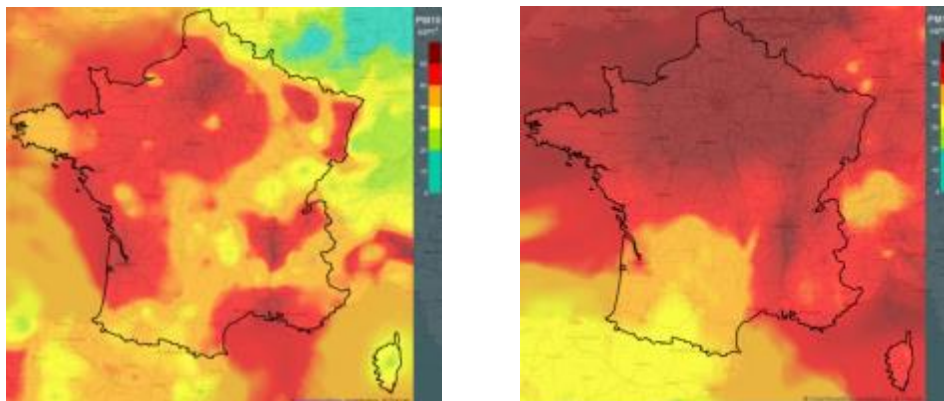
Les historiques des concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2,5} en moyenne durant les périodes de décembre de l'année N-1 à mai de l'année N sur le site urbain du musée des Beaux-Arts à Angers et le site rural de Saint-Denis d'Anjou montrent des niveaux en PM₁₀ plus élevés au cours des années précédentes sur le site urbain. Depuis trois ans, une légère diminution est constatée avec une stabilisation à des niveaux similaires sur les deux sites. Cette baisse peut être due aux conditions climatiques.

Pour les PM_{2,5}, les concentrations diminuent de manière plus marquée durant l'année 2014. En cause, des conditions météorologiques peu favorables à l'accumulation et aux émissions de particules dans l'air. Ce qui rend les données recueillies en 2014 difficilement comparables avec celles des années précédentes.

les niveaux en particules

deux épisodes généralisés de pollution particulaire

De décembre 2013 à avril 2014, plusieurs régions dont les Pays de la Loire ont connu deux épisodes de pollution aux particules.

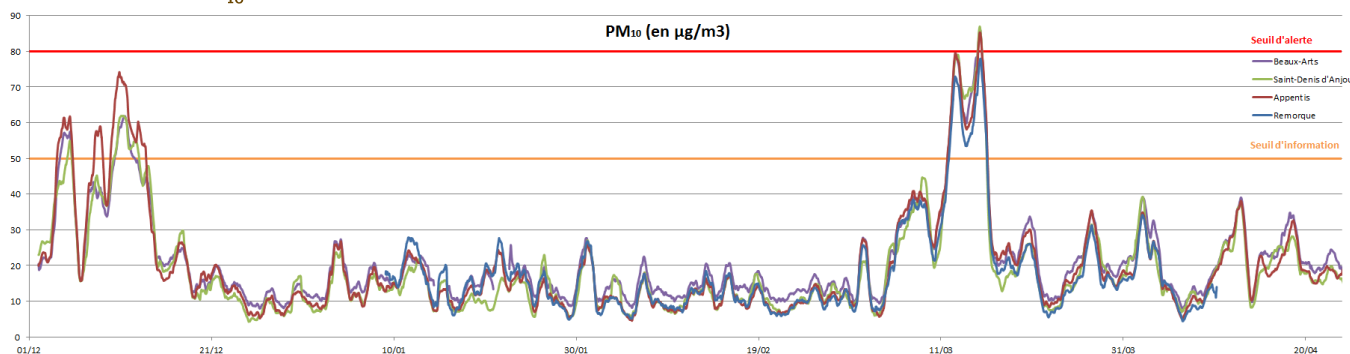


Carte 3 : concentrations moyennes journalières en PM₁₀ au cours de la journée du 10/12/13 (à gauche) et du 15/04/14 (à droite), Source : PREV'AIR

Le premier pendant la première quinzaine de décembre (du 3 au 13), dépassant le seuil d'information ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), du 4 au 13 décembre en Pays de la Loire, et le seuil d'alerte ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dans certaines régions. Des conditions météorologiques anticycloniques ont persisté pendant deux semaines sur la France à partir de fin novembre. Les vents faibles ont empêché la dispersion des polluants qui se sont accumulés à proximité de la surface et des sources d'émission (trafic, chauffage, industries, agriculture...). La chute des températures a également entraîné une surconsommation du chauffage domestique et ainsi participé à une augmentation des émissions en particules.

Le second épisode particulaire a débuté aux alentours du 5 mars, avec une augmentation progressive des concentrations en PM₁₀, puis a connu une accalmie le 9 mars. Les niveaux de particules ont ré-augmenté à partir du 10 pour dépasser le seuil d'alerte du 12 au 15 mars dans certains départements, dont le Maine-et-Loire le 15 mars. Les inversions thermiques et les vents faibles ont empêché les émissions liées aux épandages agricoles, au trafic routier, à l'industrie et à l'agriculture de se disperser. Ce qui a favorisé la formation de particules fines.

les PM₁₀



Graphique 3 : évolution des concentrations en PM₁₀ sur les quatre sites de mesure du 01/12/2013 au 23/04/2014 (moyennes 24 horaires glissantes)

Ce graphique présente des niveaux en particules PM₁₀ connaissant des évolutions généralement similaires au cours du temps et sur les quatre sites de mesure. Entre les deux épisodes de pollution (du 15/12/2013 au 04/03/2014), les niveaux en PM₁₀ restent faibles avec des valeurs moyennes de $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Appentis, $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Denis d'Anjou et $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Beaux-Arts.

Moyennes journalières en PM ₁₀ du 08/01 au 08/04 2014 hors épisode de pollution de mars (en µg/m ³)	Remorque	Appentis	Beaux-Arts	Saint Denis d'Anjou
Minimum	5	5	9	6
Maximum	33	38	39	39
Moyenne	14	15	18	15
Médiane	13	13	15	13
Percentile 90	22	24	28	24

Tableau 4 : Moyennes journalières en PM₁₀ du 08/01 au 08/04 2014 sans l'épisode de pollution du mois de mars

Hors période d'épisode de pollution particulaire, les concentrations relevées sur les sites urbains et sur le site rural sont comparables. Elles restent largement inférieures au seuil de recommandation (50 µg/m³ en moyenne sur 24 heures), avec 50 % des moyennes journalières inférieures à 15 µg/m³, 40 % comprises entre 15 µg/m³ et 28 µg/m³ et les 10 % restantes comprises entre 28 et 39 µg/m³. Elles peuvent être expliquées par les conditions météorologiques (vents forts et pluies abondantes) inhibant l'accumulation des particules avant l'épisode de pollution et plus variées (pluies faibles, alternances vents faibles/vents forts) par la suite.

En prenant en compte l'épisode de pollution, les concentrations moyennes sur la même période sont de : 21 µg/m³ au jardin des Beaux-Arts et 18 µg/m³ sur les sites du laboratoire mobile, d'Appentis et de Saint-Denis d'Anjou. Ces niveaux sont près de deux fois plus faibles que la valeur limite (moyenne annuelle de 40 µg/m³), sachant que la période de mesure de la campagne ne représente que 30 % de l'année.

Dans le cas présent, pour tenter de localiser et d'identifier les sources, des roses de pollution sont utilisées. Ces représentations indiquent l'intensité de la pollution mesurée en fonction de la direction des vents et permet ainsi d'identifier les secteurs de vent pour lesquels la concentration est maximale.

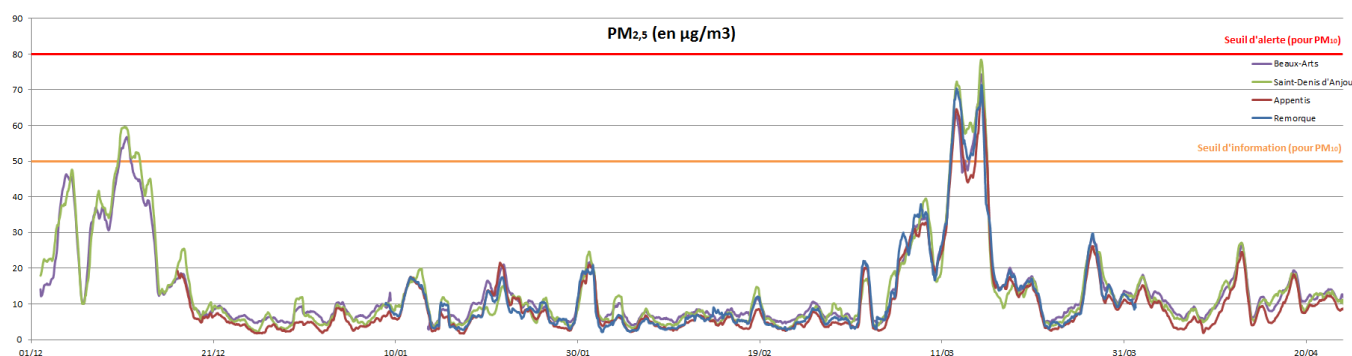


Carte 4 : roses de pollution moyennes (cf. : annexes 7 et 8) en PM₁₀ du 8 janvier au 8 avril 2014, en comprenant la période concernée par l'épisode de pollution de mars 2014 (à droite) et en dehors (à gauche)

En comparant ces graphiques, l'importance de l'épisode de pollution du mois de mars est observable. Les fortes concentrations en provenance du nord sont mesurées sur les quatre stations, ce qui confirme l'échelle régionale de cet épisode. Les niveaux les plus faibles sont enregistrés par vents de secteur ouest à sud-ouest (vents forts, présence de précipitations favorisant la dispersion et les dépôts de poussières).

Une fois cet épisode de pollution écarté, les niveaux relevés par les stations sont plus homogènes quelle que soit la direction du vent, ce qui suggère une absence d'influence des émissions de la chaufferie Biowatts sur les teneurs en PM_{10} mesurées dans son environnement.

les $PM_{2,5}$



Graphique 4 : évolution des concentrations en $PM_{2,5}$ sur les quatre sites de mesure du 01/12/2013 au 23/04/2014 (moyennes 24 horaires glissantes)

Selon ce graphique les concentrations en $PM_{2,5}$ évoluent de manières semblables sur les quatre sites de mesure, avec d'importantes augmentations lors des épisodes généralisés de pollution particuliers de décembre 2013 et mars 2014.

Moyennes journalières en $PM_{2,5}$ du 08/01 au 04/03 2014 hors épisode de pollution de mars (en $\mu g/m^3$)	Remorque	Appentis	Beaux-Arts	Saint Denis d'Anjou
Minimum	3	2	4	3
Maximum	24	24	27	27
Moyenne	8	8	10	9
Médiane	6	6	9	8
Percentile 90	16	15	17	15

Tableau 5 : moyennes journalières en $PM_{2,5}$ du 08/01 au 04/03 2014 sans l'épisode de pollution du mois de mars

Sur la période du 08/01/2014 au 08/04/2014 et hors épisode de pollution du mois de mars, les niveaux en $PM_{2,5}$ représentent environ la moitié des PM_{10} .



Carte 5 : roses de pollution moyennes (cf. : annexes 9 et 10) en $PM_{2,5}$ du 8 janvier au 8 avril 2014, en comprenant la période concernée par l'épisode de pollution de mars 2014 (à droite) et en dehors (à gauche)

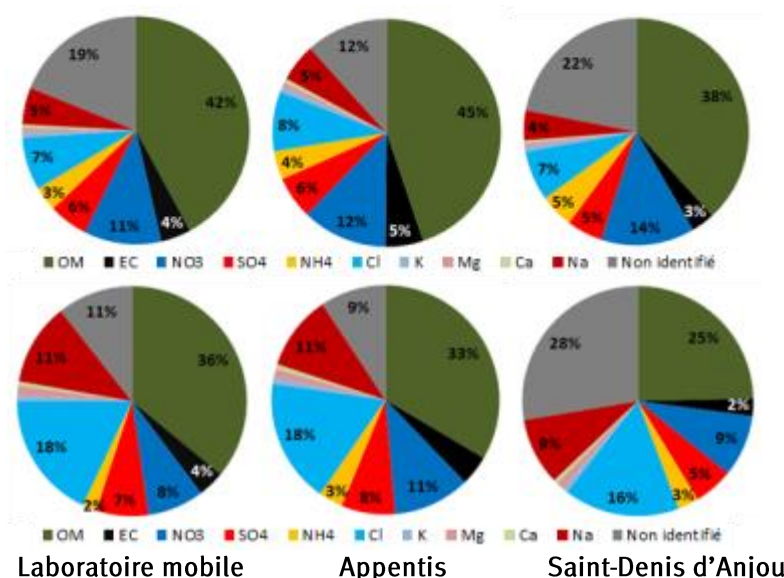
En dehors de l'épisode de pollution, les roses de pollution moyennes des trois sites montrent des niveaux en $PM_{2,5}$ assez homogènes quelle que soit la direction des vents et notamment lorsque le site d'Appentis se situe sous les vents d'ouest de la chaufferie.

Ceci suggère qu'aucune influence des émissions de la chaufferie n'est visible sur les teneurs en $PM_{2,5}$ mesurées dans son environnement.

les caractérisations chimiques des particules

Les analyses réalisées, par le Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, sur les filtres prélevés entre le 17/01/2014 et le 29/01/2014 ont permis d'obtenir des résultats détaillant les profils chimiques des particules ainsi que les évolutions des espèces ioniques, de la composante carbonée et des traceurs de la biomasse.

les profils chimiques



Graphique 5 : profils chimiques des particules selon le site de mesure, du 17 au 23 janvier 2014 (en haut) et du 24 au 29 janvier 2014 (en bas)

Les profils chimiques mesurés (en % de la masse des PM_{10}) montrent une dominante de la matière organique (OM) sur les trois sites de mesures. Elle est cependant plus marquée sur les deux sites urbains. On observe une contribution importante des sels marins (Cl^- et Na^+), surtout en deuxième période, qui représente 11 à 29 % de la masse totale des particules mesurées.

Du 17 au 23 janvier, la part en nitrates est plus importante que lors de la seconde période. En effet du 24 au 29 les épisodes marins multiplient par deux les parts en Cl^- et Na^+ , réduisant ainsi le pourcentage des autres composés (OM, nitrates, ammonium...).

Quant à la fraction non identifiée des PM, elle est plus importante sur le site rural, témoignant d'une influence de sources légèrement différente de celle observée sur les sites urbains.

Les espèces non identifiées, plus importantes en hiver, proviennent des poussières des sols (espèces crustales, métaux...), des incertitudes liées au calcul de la matière organique (car $OM=1,75 \times OC$)...

Selon l'étude Particul'Air, la contribution de la source marine aux PM évolue fortement entre les régions côtières (20 %) et les régions plus continentales (inférieure à 5 %). Cependant il n'est pas possible de comparer les profils chimiques mesurés par Air Pays de la Loire, les conditions météorologiques spécifiques de la campagne de mesure ayant une influence trop importante sur les résultats obtenus.

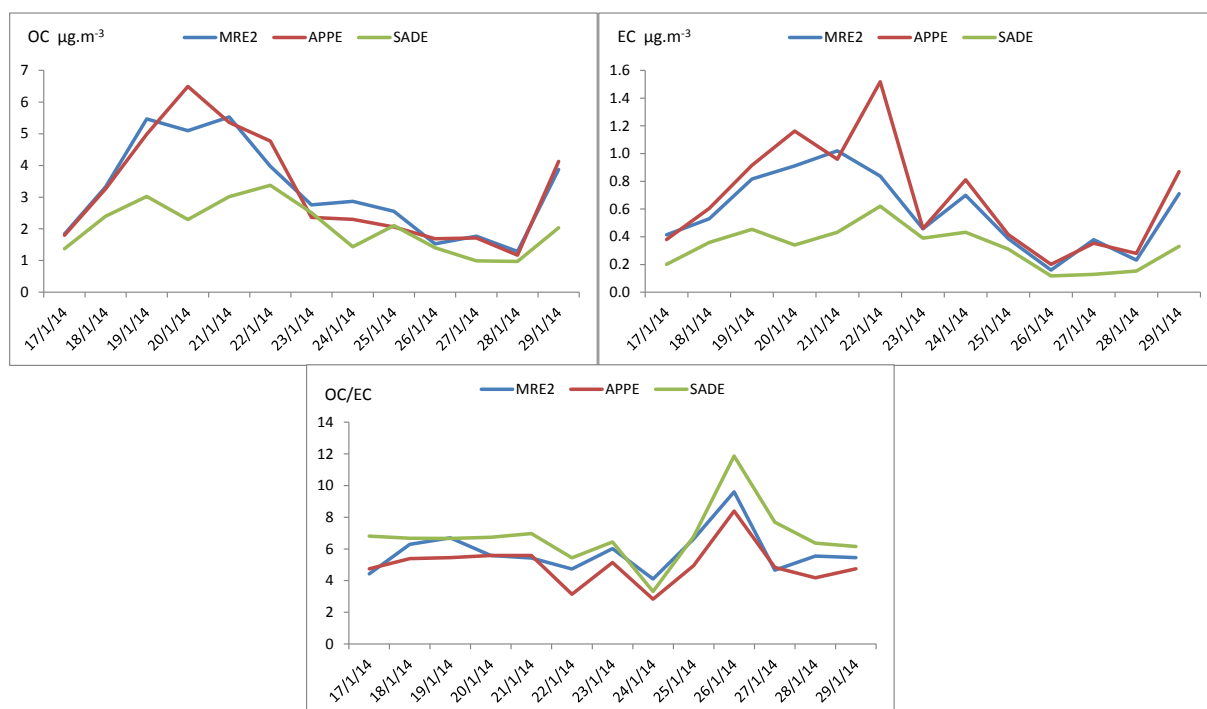
les espèces ioniques (cf. : annexe 11)

Les évolutions temporelles des espèces ioniques majeures (sulfates SO_4^{2-} , nitrates NO_3^- et ammonium NH_4^+) montrent des niveaux en nitrate d'ammonium plutôt équivalents sur les trois sites de mesure ainsi que des concentrations en sulfates plus élevées sur les sites urbains pendant une grande partie de la campagne.

Les espèces ioniques, majoritairement issues de sources marines dans le contexte de cette étude, sont le chlore (Cl^-), le sodium (Na^+) et le magnésium (Mg^{2+}). Avec la proximité de l'océan, les vents forts d'ouest (au cours de la période de mesure) ont apporté d'importants pourcentages en Na^+ et Cl^- à la région du Maine-et-Loire. Les évolutions temporelles de leurs concentrations montrent l'apparition d'épisodes marins sur la période du 23 au 29 janvier.

la composante carbonée

Les variations temporelles des deux parties de la composante carbonée (Carbone Organique (OC) et Carbone Élémentaire (EC)) sont présentées sur les graphiques suivants.



Graphique 6 : évolutions temporelles du carbone organique (en haut à gauche), du carbone élémentaire (en haut à droite) et du rapport OC/EC (en bas) entre le 17 et le 29 janvier 2014 (moyennes journalières)

Les évolutions pour OC et EC sont quasi identiques sur les deux sites urbains, avec des maxima atteints du 17 au 23 janvier. En revanche, sur le site rural, les variations de concentrations des deux espèces sont plus estompées. Ces observations montrent que les évolutions des concentrations en OC et EC sur les sites angevins sont plutôt liées à des sources locales.

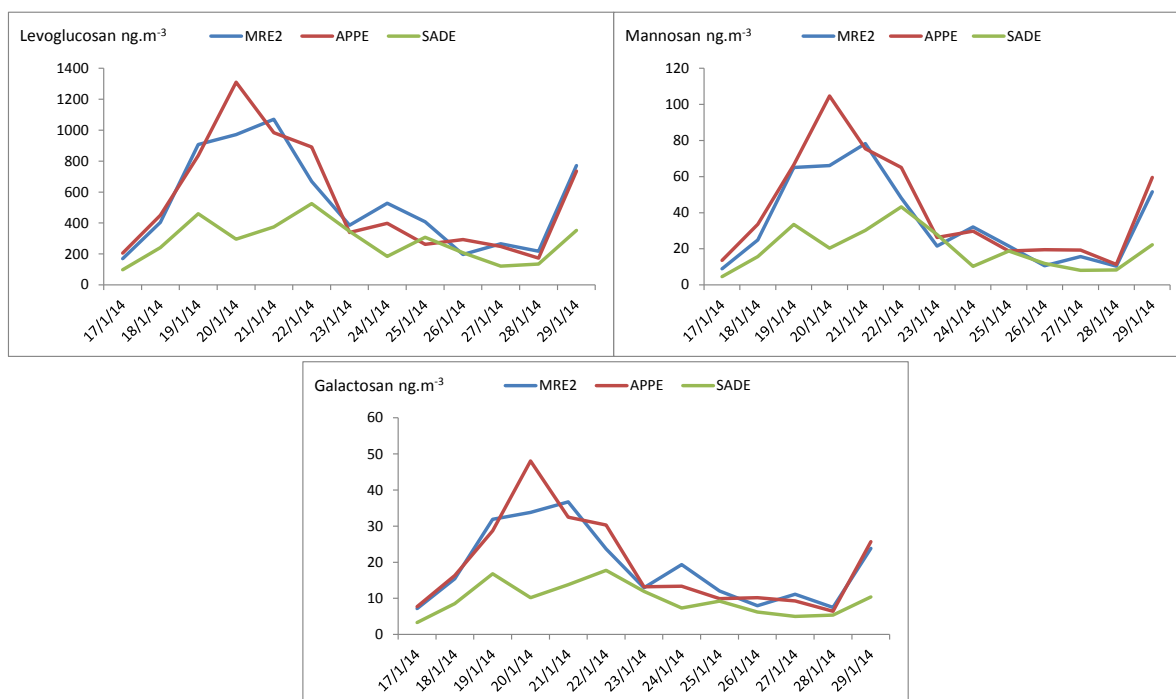
L'évolution des ratios OC/EC indique qu'il est facilement possible de distinguer deux périodes avec des influences de sources différentes. Notamment une seconde partie de campagne (du 23 au 29 janvier) où les influences marines sont dominantes.

En comparant les niveaux d'EC relevés sur la période hivernale avec ceux d'autres grandes villes comme Grenoble ($3/4 \mu\text{g.m}^{-3}$) et Bordeaux (entre 3 et $5 \mu\text{g.m}^{-3}$), les concentrations relevées à Angers (environ $1 \mu\text{g.m}^{-3}$) sont beaucoup plus faibles. Elles restent toutefois deux à trois fois plus élevées que celles du niveau de fond (relevées à Saint-Denis d'Anjou).

influence de la combustion de biomasse sur les niveaux de particules

les concentrations des traceurs

Les traceurs de combustion de biomasse analysés, par le LGGE sur la période du 17/01/2014 au 29/01/2014, sont le lévoglucosan, le galactosan et le mannosan. Ces espèces sont issues de la combustion de la cellulose, principale composante des végétaux.



Graphique 7 : évolutions temporelles du lévoglucosan (en haut à gauche), du mannosan (en haut à droite) et du galactosan (en bas) entre le 17 et le 29 janvier 2014 (moyennes journalières)

Les évolutions temporelles des concentrations des trois traceurs sont comparables à celles du carbone organique et du carbone élémentaire. En effet, comme pour la fraction carbonée, deux périodes de mesure ainsi qu'une différence entre les sites urbains et le site rural sont observables. Les différences entre les sites urbains et le site rural sont encore plus marquées, avec la mise en évidence de l'impact de la combustion de biomasse sur les sites urbains. Il n'y a pas de forte différence notable entre les deux sites (est et ouest de la centrale) confirmant ainsi l'absence d'influence des émissions de la chaufferie.

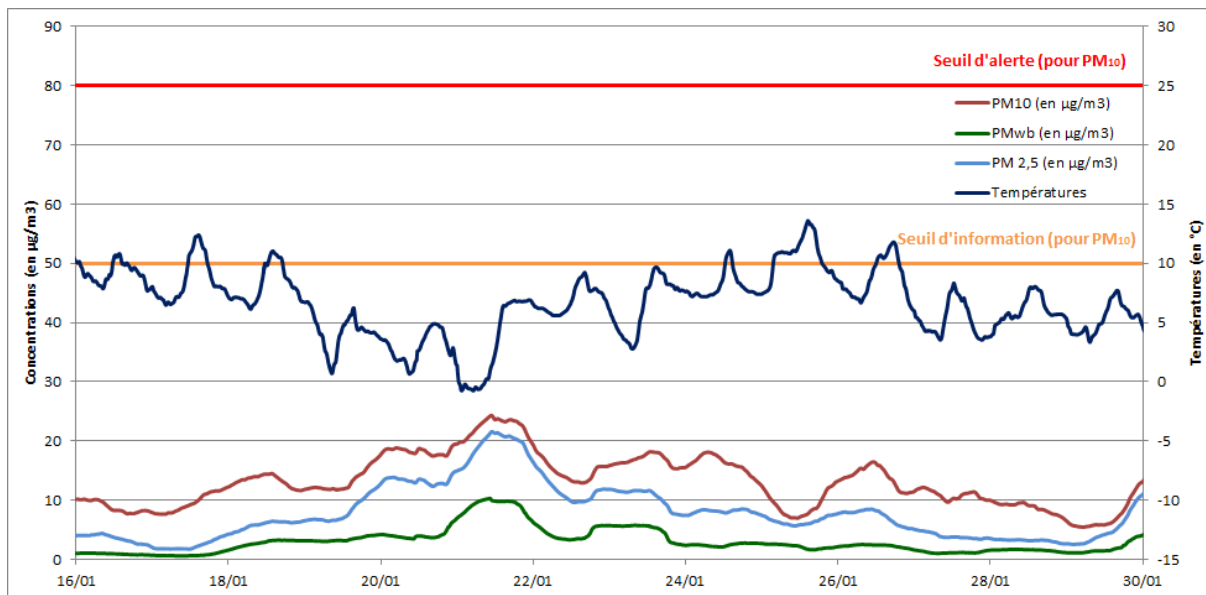
Les concentrations sur la première partie de la campagne (du 17 au 23 janvier 2014) sont assez classiques pour le site rural et finalement peu élevées pour la zone urbaine (comparées à celles mesurées sur d'autres villes française telles que Grenoble). Sur la fin de la période d'études (du 23 au 29 janvier 2014), les concentrations sont faibles pour une période hivernale en raison de la dominance d'un épisode marin marqué associé à des vents forts.

Dans le cas de l'étude Rhône-alpine (cf. : annexe 1), les niveaux en lévoglucosan sont moyennés sur différentes périodes soit sur une année complète de prélèvements (2008 ou 2009), soit durant la période d'étude Chaufferie 2008-2009. Dans le cas angevin il n'est possible de le faire que sur 13 jours. Néanmoins, les moyennes mesurées à Appentis (548 ng/m³) et sur le site de la remorque (536 ng/m³) se rapprochent du niveau de fond urbain de Frênes (Grenoble) en 2009, et celle constatée à Saint-Denis d'Anjou (281 ng/m³) est comprise entre les valeurs de Montreynaud (Saint-Etienne) et de Frênes en 2008.

D'après l'étude Particul'Air (cf. : annexe 3) les niveaux en lévoglucosan et la part matière organique issues de la combustion de biomasse sont faibles en période estivale. Ils sont plus élevés en hiver mais la température n'est pas la seule variable influençant cette source.

Cette évolution saisonnière ne permet pas d'extrapoler les niveaux moyens en lévoglucosan sur une année à partir des treize jours de données obtenus.

Dans le cas présent, des évolutions temporelles similaires à celles du lévoglucosan sont observables pour les PM_{wb} .



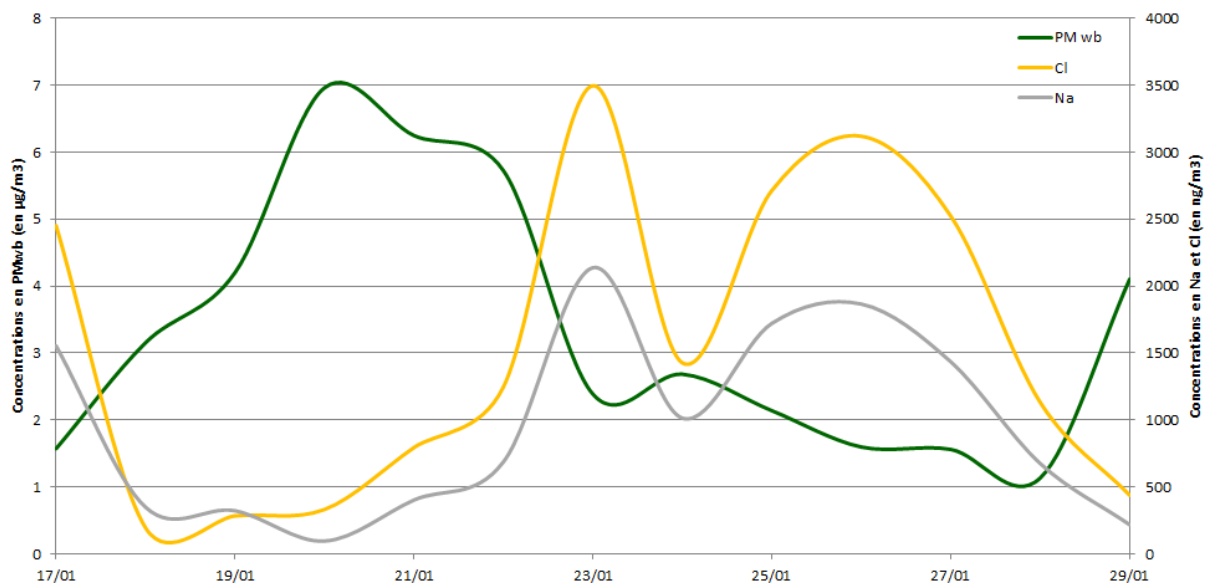
Graphique 8 : évolutions des particules PM_{10} , $PM_{2,5}$ et PM_{wb} (moyennes 24 horaires glissantes) en fonction de la température (moyennes horaires), entre le 16 et le 30 janvier 2014

Au cours de la période du 19 au 23 janvier, une augmentation du nombre de particules provenant de la combustion de biomasse (PM_{wb}) est observable. En partie responsable, une diminution des températures, passant d'environ 8°C en moyenne sur les jours précédents à 3°C en moyenne sur cette période, avec des minimums proches ou en dessous de 0°C. Ces faibles températures ont certainement entraîné une augmentation de l'utilisation du chauffage domestique. L'épisode marin des jours suivants ré-augmente les températures et fait diminuer les concentrations en particules.

Moyennes journalières (en $\mu g/m^3$)	Appentis					
	PMwb		PMff		PM10	
	Du 17 au 23	Du 24 au 29	Du 17 au 23	Du 24 au 29	Du 17 au 23	Du 24 au 29
Minimum	2	1	1	1	12	7
Maximum	7	4	3	2	20	13
Moyenne	4	2	2	1	16	11
Médiane	4	2	2	1	16	12
Percentile 90	7	3	3	2	19	13

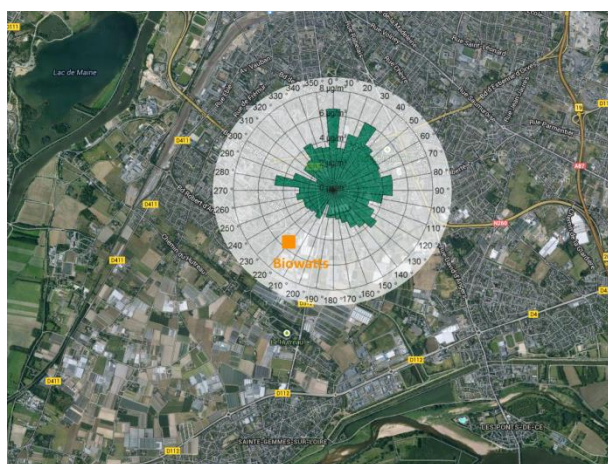
Tableau 6 : moyennes journalières en PM_{wb} , PM_{ff} et PM_{10} , entre le 17 et le 29 janvier 2014

Les effets de l'épisode marin (du 24 au 29 janvier) sont observables sur l'ensemble des particules, notamment avec une modification de leur composition chimique. La part de biomasse dans les PM_{10} se voit diminuée de 10 %, avec un apport plus important en espèces ioniques issues de sources marines (sodium Na^+ et chlore Cl), comme l'indique le graphique ci-dessous.



Graphique 9 : évolutions temporelles des concentrations en PMwb, sodium (Na) et chlore (Cl) entre le 17 et le 29 janvier 2014 (moyennes journalières)

Dans le cas présent, d'après les données des vents sur la période du 17 au 29 janvier 2014, l'évolution des concentrations en PM_{wb} ne devrait pas être imputable à la centrale Biowatts. Celle-ci étant située au sud-ouest de la station de mesure et les vents faibles sur cette période provenant du sud-est et de l'ouest.



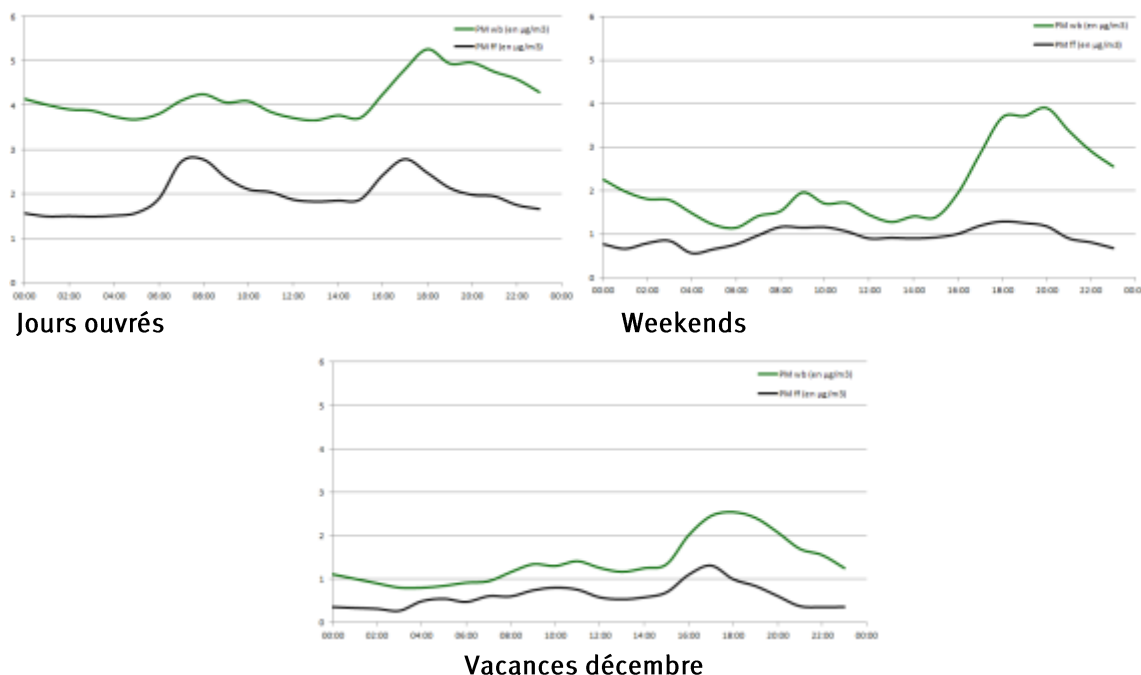
Carte 6 : rose de pollution moyenne en PM_{wb} du 17 au 29 janvier 2014

Cette rose de pollution moyenne en PM_{wb} , indique la présence de niveaux homogènes en particules. Cette répartition homogène des concentrations suggère que le chauffage domestique des quartiers résidentiels alentours est la principale source de particules. Les vents forts expliquent les faibles concentrations en PM_{wb} représentées sur la rose des polluants (inférieures à $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Sur cette période de mesure, aucune influence des émissions en provenance de la centrale Biowatts est observable.

évolutions temporelles des teneurs en PM_{10} issues de la biomasse au cours de la journée

Les profils journaliers des concentrations en particules issues de la combustion de biomasse (PM_{wb}) et originaires de combustibles fossiles (PM_{ff}) sont tracés en fonction des jours ouvrés (du lundi au vendredi), des weekends et des vacances scolaires (du 21/12/2013 au 05/01/2014 et du 01/03/2014 au 16/03/2014) au cours de quatre mois de mesure.



Graphique 10 : profils journaliers des émissions en particules issues de la combustion de biomasse et de combustibles fossiles selon les jours ouvrés, les weekends et les vacances (moyennes horaires)

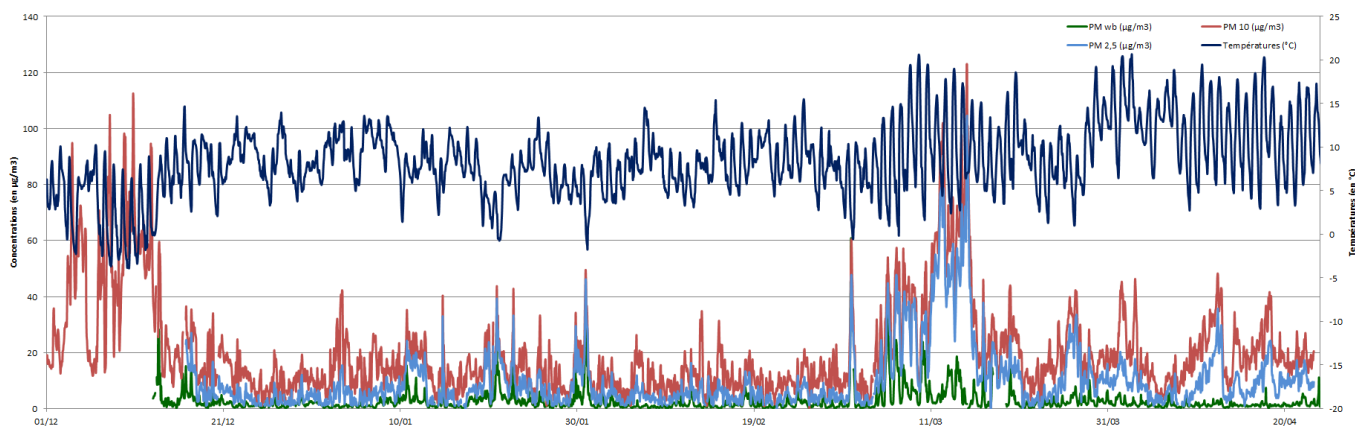
Sur l'ensemble des profils des concentrations en PM_{wb} , des allures similaires sont observables. En effet, les niveaux diminuent la nuit (entre 19h/20h et 6h) puis augmentent légèrement en début de matinée. Pendant la journée, selon le cas, les évolutions sont semblables mais à des horaires différents. L'accroissement matinal des concentrations en PM_{wb} est de courte durée les jours ouvrés (jusque 8h) et plus persistant dans le temps les autres jours (jusque 9h les weekends et 12h pendant les vacances). Au cours des heures travaillées (dans lesquelles sont comprises les heures les plus chaudes de la journée) une nouvelle diminution en PM_{wb} a lieu. Puis dans tous les cas présentés, une forte augmentation est notable à partir de 15h, doublant presque les niveaux en particules pendant les vacances et les weekends.

Durant les jours ouvrés, les niveaux en particules sont presque deux fois plus élevés, que les autres jours. Cependant, lors des pics de fin de journée, les émissions en PM_{wb} les weekends se rapprochent de celles des jours travaillés.

Grâce à ces profils journaliers, l'influence du chauffage résidentiel particulier et collectif est mise en évidence.

évolution temporelle des niveaux en PM_{10} issus de la combustion de biomasse durant la campagne de mesure

Au cours de la campagne de mesure, l'aéthalomètre AE-33 a fourni des données concernant les concentrations en particules issues de la combustion du bois (Wood Burning (PM_{wb})) et de la combustion de combustibles fossiles (Fossil Fuel (PM_{ff})).



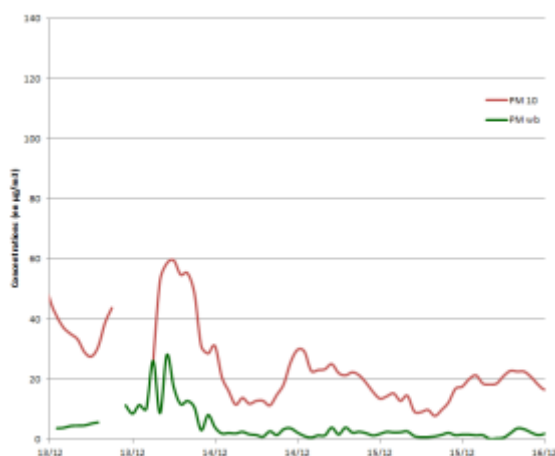
Graphique 11 : évolution des concentrations en $PM_{2,5}$, PM_{10} et PM_{wb} (moyennes horaires) en fonction de la température (moyennes horaires) sur les quatre sites de mesure du 01/12/2013 au 23/04/2014

Sur ce graphique des corrélations entre certains pics de PM_{10} , $PM_{2,5}$ et PM_{wb} sont identifiables. Notamment dans les nuits du 20 au 21 janvier 2014, du 30 au 31 janvier et du 1^{er} au 2 mars. Au cours de ces périodes, des anti-corrélations entre les températures et les concentrations en particules sont également observables. Ainsi, en présence de températures négatives, la consommation de biomasse par les chauffages résidentiels, collectifs et industriels augmente.

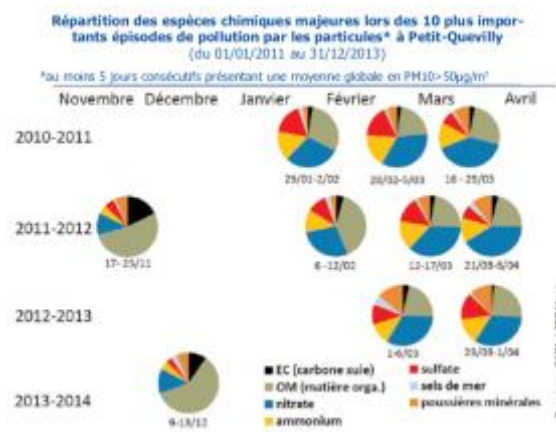
Hors épisodes de pollution particuliers de décembre 2013 et mars 2014, les moyennes journalières en PM_{wb} , $PM_{2,5}$ et PM_{10} restent faibles du 16/12/2013 au 23/04/2014 (respectivement $2 \mu g/m^3$, $8 \mu g/m^3$ et $15 \mu g/m^3$ en moyenne). Les PM_{wb} représentent entre 7 et 96 % des $PM_{2,5}$ avec une moyenne de 32 % et entre 4 et 51 % des PM_{10} , avec une moyenne de 17 %. Ainsi, au cours de cette période, la combustion de biomasse représente une source non négligeable en particules.

caractérisation de la composition de l'aérosol lors des deux épisodes de pollution

- épisode de décembre



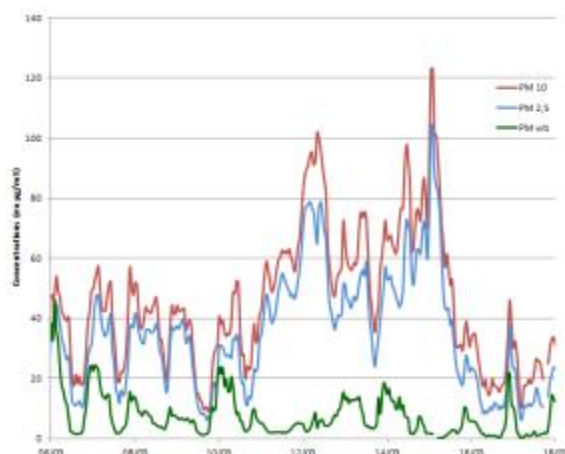
Graphique 13 : évolutions temporelles des concentrations en particules PM_{10} et PM_{wb} au cours de l'épisode de pollution de décembre 2013 (moyennes horaires)



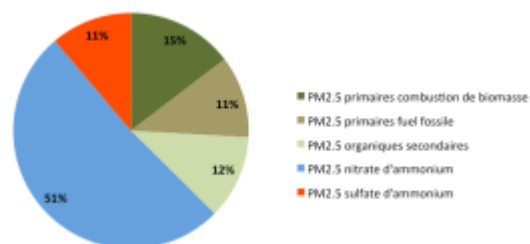
Graphique 12 : répartition des espèces chimiques majeures lors des 10 plus importants épisodes de pollution par les particules Petit-Quevilly (Sources : Airnormand, programme CARA, LCSQA/Ineris)

Les profils chimiques et le graphique montrent que le carbone suie et la matière organique sont liés aux combustions de biomasse, trafic et industries. Ils sont présents majoritairement lors des épisodes hivernaux tandis que le nitrate et le sulfate d'ammonium le sont au printemps.

- épisode de mars



Graphique 15 : évolutions temporelles des concentrations en particules PM10 et PMwb au cours de l'épisode de pollution de mars 2014 (moyennes horaires)

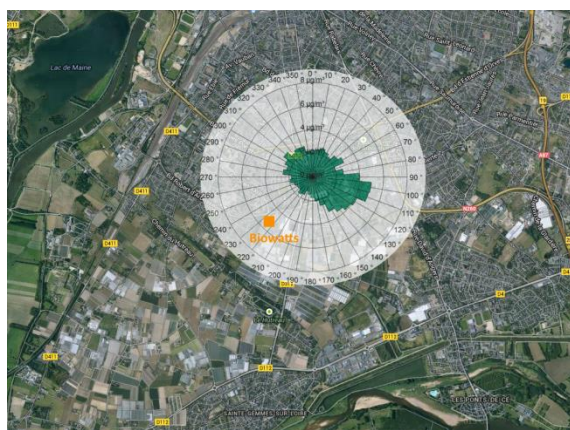


Graphique 14 : composition chimique des particules PM2,5 mesurées en périphérie de Paris durant l'épisode de pollution particulaire de mars 2014 (Source : LSCE)

Le profil chimique et le graphique ci-dessus confirment l'origine agricole de cet épisode de pollution. En effet, le nitrate d'ammonium formé à partir de l'ammoniac gazeux émis par les sols agricoles en cours de fertilisation et des oxydes d'azote et acide nitrique, est le principal constituant des particules PM_{2,5} au cours de cette période.

La part issue de la combustion de biomasse reste minoritaire.

influence des émissions de la chaufferie sur les poussières originaires de la combustion de biomasse



Carte 7 : rose de pollution moyenne en PMwb du 13/12/2013 au 23/04/2014

D'après ce graphique, il n'y a pas de concentrations en PM_{wb} plus élevées par vents d'ouest et de sud-ouest lorsque le site se retrouve sous les vents de l'établissement.

Ce qui confirme les résultats enregistrés par les PM_{2,5}, les PM₁₀ et les traceurs de la combustion de biomasse, il n'y a pas d'influence de la chaufferie.

Cependant, cette rose de pollution suggère une légère influence des quartiers résidentiels par vents de sud-est.

influence des oxydes d'azote (NOx)

Au cours de cette campagne de mesure, les quatre stations étaient équipées d'analyseurs automatiques en oxydes d'azote (cf. : annexe 5) et ont fourni les résultats suivants.



Carte 8 : roses de pollution moyennes en NO₂ du 8 janvier au 8 avril 2014

Sur ces roses de pollution, des concentrations en NO₂ deux fois plus élevées sont classiquement mesurées sur les sites urbains par rapport au site rural. Des différences de niveaux sont observables entre les sites urbains. En effet, des taux en NO₂ plus importants sont enregistrés en centre-ville (jardin des Beaux-Arts) par rapport aux quartiers péri-urbains (Appentis et laboratoire mobile).

Comme pour les poussières et les traceurs de la combustion de biomasse, sur l'ensemble des sites, les niveaux en NO₂ sont assez homogènes quelle que soit la direction des vents. Ce qui suggère qu'aucune influence des émissions de la chaufferie n'est visible sur les teneurs en NO₂ mesurées dans son environnement.

conclusions et perspectives

Les objectifs de campagne de mesure étaient de quantifier les concentrations en particules issues de la combustion de biomasse dans trois environnements distincts (rural, suburbain et dans la zone de retombées maximales de la chaufferie), d'évaluer l'influence de la centrale de cogénération Biowatts (Angers) et des secteurs résidentiels alentours, et enfin de comparer les niveaux en particules issues de la combustion de biomasse relevés dans l'agglomération angevine avec les niveaux de fond.

Pour cela, trois sites de mesure (un en milieu rural (Saint-Denis d'Anjou) et les deux autres à proximité de la chaufferie en zone de retombées maximales (Appentis) et en zone résidentielle (laboratoire mobile)) ont été équipés spécialement pour la campagne de mesure d'analyseurs automatiques de particules $PM_{2,5}$ et PM_{10} ainsi que de préleveurs de particules atmosphériques. Pour compléter ces mesures, la station Appentis a disposé d'un Aéthalomètre à sept longueurs d'ondes (appareil de mesure permettant d'estimer la part de particules issues de la combustion de biomasse). Les données relevées sur une station mesurant les niveaux de fond urbain de la ville d'Angers (Beaux-Arts) ont par ailleurs été exploitées.

Les principaux résultats obtenus sont les suivants.

Sur l'ensemble de la campagne, les niveaux en particules sont faibles compte tenu des conditions météorologiques favorables à leur dispersion et à leur dépôt. Il y a deux exceptions correspondantes aux pics de pollution particulaire de décembre 2013 et mars 2014.

Dans l'environnement de Biowatts, il n'y a pas d'impact visible des émissions de la chaufferie sur les concentrations en particules issues de la combustion de biomasse, en $PM_{2,5}$ et en PM_{10} , ni sur les traceurs spécifiques de la combustion de biomasse.

En comparant les niveaux ruraux et urbains, on observe en zone urbaine une influence plus marquée de la combustion de biomasse en provenance du chauffage résidentiel.

Concernant les deux épisodes de pollution particulaire, il s'agit de pollution généralisée sur une partie du territoire français. Les conditions météorologiques anticycloniques ont entraîné en décembre une chute des températures. Ce qui a provoqué une surconsommation du chauffage domestique et ainsi participé à une augmentation des émissions en particules. En mars, ces mêmes conditions ont favorisé l'accumulation de nitrates et sulfates d'ammonium utilisés pour les épandages agricoles.

En 2015, Air Pays de la Loire élargira cette étude relative à l'influence de la combustion de biomasse sur la qualité de l'air, par un suivi de la caractérisation chimique de l'aérosol. Dans ce cadre Air Pays de la Loire intégrera le réseau national CARA (dispositif de surveillance des particules en France, géré par le LCSQA).

L'objectif est de disposer sur la façade ouest de la France, d'informations fines sur la composition chimique des particules afin notamment d'estimer les secteurs émetteurs majeurs en cas d'épisode de pollution. De manière générale, Air Pays de la Loire déploiera à compter de 2015 une stratégie de développement de la caractérisation des particules fines, dans un contexte d'impact sanitaire avéré de ces polluants et d'augmentation des situations d'épisodes de pollution particulaires depuis que les seuils ont été rendus plus sévères.

Sur la question spécifique de l'impact de la combustion de biomasse, de nouvelles études pourraient également être menées sur des installations moins puissantes que Biowatts et non soumises à réglementation afin de disposer d'un panel de situations en matière d'émissions de chaufferies.

annexes

- annexe 1 : « étude de traceurs de combustion de la biomasse dans l'air ambiant autour de trois chaufferies bois de la région Rhône-Alpes – AMPASEL, ASCOPARG, COPARLY – 2010 »
- annexe 2 : « connaissance de l'origine des émissions dues à la combustion de la biomasse sur le secteur Grenoblois – LGGE, LCME – 2010 »
- annexe 3 : « PARTICUL'AIR : étude inter-régionale de la pollution particulaire en zone rurale – ADEME – 2011 »
- annexe 4 : les instruments de mesure
- annexe 5 : les composants analysés
- annexe 6 : les méthodes d'analyses
- annexe 7 : roses de pollution moyenne en PM_{10} , du 08/01/2014 au 08/04/2014, avec l'épisode de pollution du mois de mars
- annexe 8 : roses de pollution moyenne en PM_{10} , du 08/01/2014 au 08/04/2014, sans l'épisode de pollution du mois de mars
- annexe 9 : roses de pollution moyenne en $PM_{2,5}$, du 08/01/2014 au 08/04/2014, avec l'épisode de pollution du mois de mars
- annexe 10 : roses de pollution moyenne en $PM_{2,5}$, du 08/01/2014 au 08/04/2014, sans l'épisode de pollution du mois de mars
- annexe 11 : analyses du LGGE concernant les espèces ioniques
- annexe 12 : Air Pays de la Loire
- annexe 13 : techniques d'évaluation
- annexe 14 : types des sites de mesure
- annexe 15 : polluants
- annexe 16 : seuils de qualité de l'air 2014

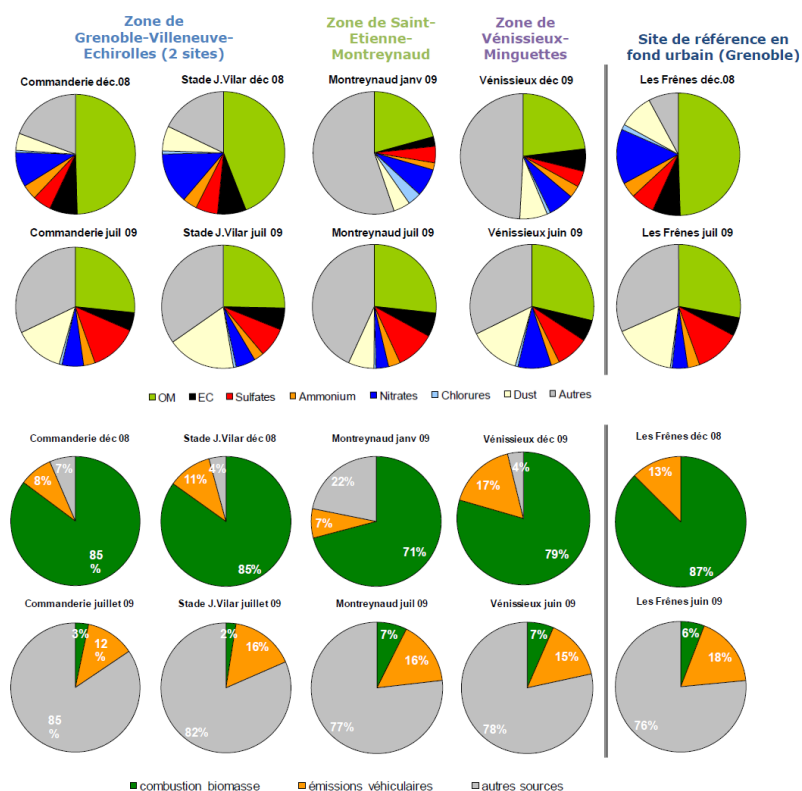
annexe 1: « étude de traceurs de combustion de la biomasse dans l'air ambiant autour de trois chaufferies bois de la région Rhône-Alpes – AMPASEL, ASCOPARG, COPARLY – 2010 »

En 2009, les Associations de Surveillance de la Qualité de l'Air en Rhône-Alpes ont effectué une étude portant sur le suivi de traceurs de combustion de biomasse dans l'air ambiant à proximité de trois chaufferies bois (Grenoble-Villeneuve, Saint-Etienne-Montreynaud et Vénissieux-Minguettes).

Elle avait pour objectifs de :

- réaliser un bilan de la qualité de l'air dans l'environnement des trois installations, en prenant en compte les principaux polluants réglementés.
- évaluer l'impact des trois chaufferies en se focalisant sur les niveaux en particules (PM_{10} et $PM_{2,5}$), leur composition chimique et leur part provenant de la combustion de biomasse.
- observer l'évolution de traceurs selon les localisations, les saisons... Et estimer l'impact du chauffage au bois.

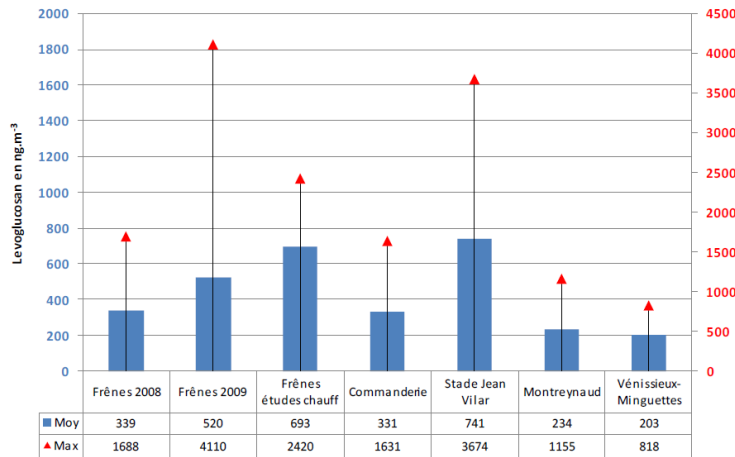
Les études des PM_{10} et $PM_{2,5}$ ainsi que leur composition chimique ont mis en évidence la part de particules issues de la combustion de biomasse.



Composition chimique (en %) des PM_{10} (au-dessus) et contribution de la combustion de biomasse, des émissions véhiculaires ainsi que des autres sources de carbone organique (en %) dans les PM_{10} (en-dessous) mesurées sur les quatre sites à proximités des chaufferies et le site de Grenoble les frènes, en été et hiver.

Ces résultats indiquent, dans un premier temps, qu'à Grenoble, la composition chimique des particules est majoritairement influencée par le chauffage en hiver, et que sur les sites de Montreynaud et Vénissieux-Minguettes, d'autres sources importantes semblent également présentes.

Dans un second temps, la contribution des principales sources montre que la combustion de biomasse occupe une place dominante dans la matière organique des particules sur les trois sites. Elle est plus importante à Grenoble (également majoritaire sur les deux autres sites) et ne provient pas uniquement de la chaufferie, mais également d'installations résidentielles.



Concentrations moyennes en lévoglucosan (en ng/m^3) sur les quatre sites d'étude et sur le site de Grenoble les Frênes (moyenne en bleu, échelle de gauche et maximums en rouge, échelle de droite)

Les niveaux mesurés en lévoglucosan confirment l'impact important du chauffage au bois sur les sites de Grenoble (niveaux moyens deux à trois fois plus importants que dans les autres villes). La présence de concentrations en lévoglucosan élevées même en étant éloigné de la chaufferie semble indiquer que celle-ci n'est pas la seule source de particules.

Cette étude a mis en évidence que :

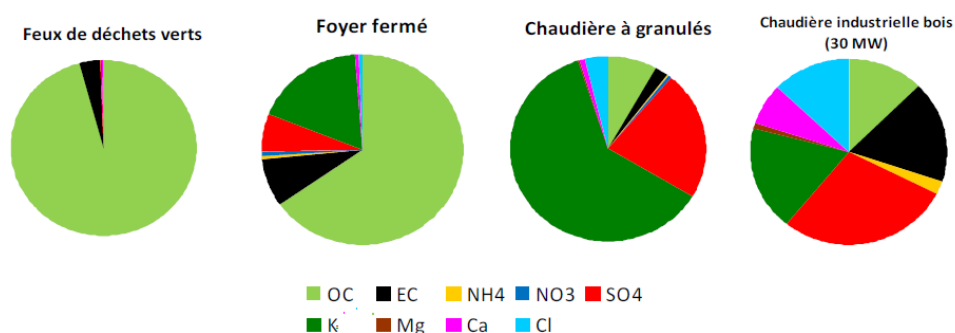
- l'influence de la combustion de la biomasse est présente sur tous les sites de mesure en période hivernale ;
- seuls, les polluants réglementés ne permettent pas de mesurer l'impact des chaufferies au bois ;
- les niveaux en particules issues de la combustion de biomasse des chaufferies collectives sont difficiles à différencier de celles provenant des chauffages résidentiels aux bois.

annexe 2 : « connaissance de l'origine des émissions dues à la combustion de la biomasse sur le secteur Grenoblois – LGGE, LCME – 2010 »

Cette étude a été réalisée par le Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement et le Laboratoire de Chimie Moléculaire et Environnement pour une meilleure connaissance des émissions issues de différents types de combustion de la biomasse.

Le but de cette étude est de déterminer les signatures chimiques des différents processus de combustion afin de mettre en œuvre des méthodes d'identification des sources de particules, applicables aux échantillons collectés sur Grenoble.

Différents types de combustions et combustibles ont été analysés : brûlage de déchets verts, chaufferie utilisant comme combustible du bois ou du mixte bois-charbon, combustion de bûches en foyer ouvert et en foyer fermé, combustion de granulés et émissions véhiculaires.



Profils chimiques d'espèces majeures sur différents type de combustion de biomasse

Des profils différents sont observés pour chaque type de combustion en raison de la nature différente des combustibles ainsi que des conditions de combustion.

Ils ont été testés dans une méthode d'estimation des sources primaires de l'aérosol à l'aide d'une approche quantitative CMB (Chemical Mass Balance).

Selon cette méthode, une différence est notable entre les profils chimiques issus de foyers fermés et de chaudières industrielles au bois. Dans l'hypothèse que ces profils chimiques sont utilisés comme profils de référence, alors les profils relevés dans le cadre de l'étude angevine se rapprochent de celui correspondant aux foyers fermés.

annexe 3 : « PARTICUL'AIR : étude inter-régionale de la pollution particulaire en zone rurale – ADEME – 2011 »

Particul'Air est un programme créé dans le but d'améliorer les connaissances sur les particules et les HAP dans les zones rurales, et plus particulièrement sur leurs niveaux de concentrations et leurs sources.

Cette étude avait pour objectifs de caractériser la pollution particulaire (niveaux, composition chimique, évolution temporelle...), et d'analyser l'influence des sources de particules (à l'aide de leurs traceurs). Ces travaux portent une attention particulière sur une source de particules et de HAP, la combustion de biomasse.

Ce programme, coordonné par l'ADEME, a été réalisé dans huit régions grâce à huit AASQA (Airbreizh, Airaps, Aircom, Atmo Auvergne, Atmo Franche-Comté, Atmo Poitou-Charentes, Lig'Air, Limair) et deux laboratoires de recherche (LCME et LGGE). Neuf communes rurales, réparties de l'Ouest à l'Est de la France, ont été choisies dans le cadre de cette étude. En simultané sur les différents sites, des mesures horaires de particules ainsi que dix campagnes de sept prélèvements journaliers ont été réalisés de entre mars 2009 et février 2010.

Pour les neuf communes, le principal émetteur de particules est le secteur agricole. Il rejette deux tiers des poussières totales, principalement des PM_{10} . Tandis que le secteur résidentiel émet 55 % des $PM_{2,5}$ sur l'ensemble des sites. Quant aux transports routiers, ils participent à hauteur de 10 % (en moyenne) des émissions, majoritairement des $PM_{2,5}$.

Selon l'estimation de la consommation de bois par les foyers (pour le chauffage résidentiel), les émissions de particules issues de la combustion de biomasse représenteraient en moyenne 22 % des particules totales, 34 % des PM_{10} et 53 % des $PM_{2,5}$ (les taux les plus élevés, respectivement 88 %, 80 % et 82 %, ont été estimés sur la commune de Lescheraines), avec un fort apport en matière organique.

La saisonnalité des mesures laisse apparaître une augmentation des concentrations en particules l'hiver, en raison des conditions climatiques (plus favorables à l'accumulation des polluants) mais aussi de l'ajout de la source chauffage. Ainsi, des relations sont observables entre la température et les concentrations en lévoglucosan (traceur de la combustion de biomasse), notamment en dessous de 18°C.

En périodes estivales, la contribution de la combustion de biomasse est relativement faible. Elle augmente au cours des périodes intermédiaires et hivernales et peut varier entre 2 et 90 % de la masse des particules.

annexe 4 : les instruments de mesure

l'aéthalomètre AE-33

Principalement due à la présence de carbone élémentaire (EC), les matières particulaires ambiantes apparaissent noires lorsqu'elles sont collectées sur des filtres. Le Black Carbon (BC) est défini comme étant une fraction des aérosols carbonés absorbant la lumière au-delà de la région du spectre visible. Le principe de mesure des aéthalomètres repose sur l'atténuation de l'intensité d'un faisceau lumineux à travers un échantillon de poussières atmosphériques déposées sur un filtre.

La filtration est effectuée sur une bande filtrante. Cette bande avance automatiquement quand l'atténuation du rayonnement lumineux, par les poussières accumulées sur le filtre, excède la limite maximum acceptée par l'analyseur.

L'aéthalomètre dispose d'une source lumineuse à sept longueurs d'onde. En effet, plus la longueur d'onde de la source lumineuse est courte et plus l'absorption de l'intensité lumineuse augmente pour certains composés chimiques (comme pour les hydrocarbures aromatiques). Cette particularité permet d'attribuer un épisode de pollution à un certain émetteur. Par exemple, plusieurs contributions scientifiques montrent qu'il est possible d'attribuer certains épisodes à la combustion de bois plutôt qu'au trafic.

Suite aux traitements des données, les mesures enregistrées par l'aéthalomètre permettent, dans un premier temps, d'observer l'évolution des concentrations en Black Carbon au cours du temps, avec une distinction entre le Black Carbon issu de la combustion du bois (wood burning (wb)) et le Black Carbon issu des combustibles fossiles (fossil fuel (ff)).

Dans un second temps, les concentrations en Black Carbon sont multipliées par des facteurs de conversion (10 pour la source wood burning ; 2,5 pour la source fossil fuel) issus de la littérature, afin d'estimer les concentrations en $PM_{2,5}$ issues de ces deux sources (PM_{wb} et PM_{ff}).

le TEOM-FDMS

L'échantillonneur TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) mesure tous les quarts d'heure la masse de particules $PM_{2,5}$ ou PM_{10} grâce à une microbalance à variation de fréquence d'oscillation. Cette balance à quartz est également équipée d'un filtre chauffé à 50°C, afin d'éliminer l'humidité de l'air aspiré. Cependant ce chauffage favorise la volatilisation de certains composés. Ainsi, le TEOM est complété du système FDMS (Filter Dynamics Measurement Systems) permettant la prise en compte la fraction volatile de l'aérosol.

Cette technique de mesure est équivalente à la méthode gravimétrique de référence de la norme CEN 12341.

le DIGITEL DA-80

Le collecteur DIGITEL DA-80 permet de prélever automatiquement des particules $PM_{2,5}$ ou PM_{10} (selon la tête de prélèvement installée) sur des filtres. Pour cela, l'air atmosphérique est aspiré à débit constant puis traverse le filtre sur lequel les particules vont s'impacter.

annexe 5 : les composants analysés

les particules

Les particules sont des polluants de différentes natures caractérisées par leur taille (allant de quelques nanomètres à une centaine de micromètres). Les particules PM_{10} et $PM_{2,5}$ correspondent aux particules ayant un diamètre aérodynamique respectivement inférieur à $10\ \mu m$ et à $2,5\ \mu m$. Les PM_{10} sont constituées d'une partie fine ($PM_{2,5}$) et d'une fraction grossière (comprise entre $2,5$ et $10\ \mu m$). Il a été montré que les $PM_{2,5}$ représentaient environ 70 % de la masse des PM_{10} . Ainsi, les PM_{10} ont essentiellement les mêmes origines que les $PM_{2,5}$.

Les aérosols (particules en suspension) atmosphériques ne constituent pas une espèce chimique unique et homogène. Ils sont composés d'un mélange complexe de matières organique et inorganique possédant de nombreuses sources. Ces sources sont d'origines naturelles (érosion des sols par le vent, aérosols marins, pollens, spores, débris végétaux...) et anthropiques (combustion, industries, chauffage...).

Deux catégories de particules peuvent être distinguées, les particules primaires, directement émises dans l'atmosphère, et les particules secondaires, issues de la transformation des polluants gazeux présents dans l'atmosphère. Les particules primaires sont issues de processus mécaniques ou de procédés de combustion (sources de carbone élémentaire et de carbone organique). En revanche, la formation de particules secondaires résulte de la conversion de gaz atmosphériques en particules. Parmi les particules secondaires, on différencie les particules organiques et les particules inorganiques.

Les particules organiques secondaires ont pour précurseurs les Composés Organiques Volatils (COV). Les COV, émis par des sources anthropiques (industrie, trafic routier, secteurs résidentiel et tertiaire) et naturelles, peuvent subir une succession de dégradations chimiques aboutissant à la formation de composés oxydés moins volatils. Ces réactions, initiées par la photochimie, ont plus particulièrement lieu au cours des journées chaudes et ensoleillées, en été ou au printemps. Par différents mécanismes (condensation, coagulation...), les composés organiques moins volatils formés se retrouvent en phase solide et forment ainsi les aérosols organiques secondaires. Certaines études ont montré que la contribution d'aérosols organiques secondaires peut atteindre 50 % de la fraction semi-volatile des particules en été.

Les particules inorganiques secondaires sont principalement constituées de nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) et de sulfate d'ammonium ($(NH_4)_2SO_4$). Ce sont des constituants majeurs des $PM_{2,5}$ et des PM_{10} , représentant une part significative des particules, surtout en hiver. Les précurseurs gazeux de ces composés sont le dioxyde d'azote (NO_2), le dioxyde de soufre (SO_2) et l'ammoniac (NH_3). Ainsi, les principales sources varient selon les précurseurs : le trafic routier et les secteurs résidentiel et tertiaire pour le NO_2 , le secteur de la production d'énergie et les secteurs résidentiel et tertiaire, pour le SO_2 , l'agriculture et le trafic pour le NH_3 .

Les particules atmosphériques contiennent de nombreux composés chimiques : carbone, anions, cations, poussières minérales, métaux...

les espèces ioniques

Parmi les espèces ioniques retrouvées dans les particules, les sels marins regroupent Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , K^+ et Ca^{2+} . Certaines espèces sont d'origine primaire (comme K^+ qui peut être un traceur de combustion de la biomasse ou Ca^{2+} non marin) ou secondaire (SO_4^{2-} non marin, NH_4^+ ou NO_3^- , formés à partir des NOx, du SO_2 ou du NH_3 présents dans l'atmosphère).

les composants carbonés

Le carbone est présent sous deux formes : le carbone élémentaire (EC) et le carbone organique (OC). La somme du carbone élémentaire et du carbone organique constitue le carbone total (CT).

- le carbone élémentaire (EC) regroupe deux allotropes non solubles du carbone : le graphite et le carbone amorphe. Il est principalement primaire et d'origine anthropique. Il est essentiellement issu de la combustion de combustibles fossiles (charbon, essence, diesel, kérosène, gaz naturel...), renouvelables (bois, biomasse...), ou autres. C'est un bon traceur des activités anthropiques, notamment du trafic. En moyenne, l'EC représente 5 à 10 % de la masse de $PM_{2,5}$, pouvant aller jusqu'à 15/20 % sur les sites de trafic (JRC, 2003).
- le carbone élémentaire constitue le cœur de l'aérosol. Il est généralement entouré d'un mélange complexe de composés organiques, appelé carbone organique (OC). Dans les particules atmosphériques, le carbone organique se trouve plutôt sous la forme de matière organique particulaire (OM).

Le terme matière organique (OM) désigne l'ensemble du carbone et des autres constituants de cette matière (oxygène, hydrogène, azote, soufre...). La teneur en OM est estimée en multipliant la teneur en OC par un coefficient (compris entre 1,4 et 1,8, selon le temps passé par l'aérosol dans l'atmosphère). La matière organique peut être d'origine anthropique (formées au cours des combustions incomplètes), soit directement produite à l'émission, ou encore par conversion des gaz présents dans les fumées. Elle peut également être constituée de particules biogéniques primaires, telles que les spores ou les pollens.

La matière organique peut comporter une grande variété de familles organiques (hydrocarbures aliphatiques, esters, alcools, cétones, aldéhydes, acides...), dont certaines sont très toxiques. Certaines espèces se fixent sur les particules dès leur émission, d'autres se forment suite à l'oxydation de leurs précurseurs gazeux. Certains composés organiques peuvent être émis par un type d'activités spécifique, ainsi leur analyse peut permettre de déterminer l'origine des particules. Comme par exemple le lévoglucosan, étudié comme traceur de la combustion de la biomasse (Jordan et al., 2006 ; Puxbaum et al., 2007).

En général, les PM_{10} sont composées en moyenne de 20 à 30 % d'OM, de 2 à 8 % d'EC et de 15 à 40 % d'espèces ioniques, la proportion d'espèces non identifiées pouvant atteindre 60 %. En période hivernale, la part de matière organique peut augmenter jusqu'à 50 % de la masse des PM_{10} , avec des concentrations importantes en lévoglucosan et HAP.

les traceurs de biomasse

La combustion de biomasse conduit à l'émission de composés traceurs, appartenant aux familles des méthoxyphénols et des saccarides anhydres, issus de la décomposition thermique de la cellulose et de l'hémicellulose. Le lévoglucosan et ses deux isomères (galactosan et mannosan) constituent des traceurs stables dans l'atmosphère avec un facteur d'émission important lors de la combustion de biomasse.

D'après la littérature, la contribution de la combustion de biomasse à la matière organique contenue dans les PM₁₀ peut être calculée à partir de la proportion de lévoglucosan contenue dans cette MO :

$$\text{Contribution} = \frac{[\text{Lévoglucosan}] \times 7,35}{[\text{Matière Organique}]}$$

Avec $[\text{Matière Organique}] = 1,4 \times [\text{Carbone Organique}]$

levoglucosan en ng.m ⁻³			
Zone géographique	Site	Eté	Hiver
Launceston, Australie	urbain	100-500	2000-13000
Texas, Etats-Unis	urbain (Dallas)	500	
	urbain (Houston)	300	
Californie, Etats-Unis	rural		
	urbain (Fresno)		
Fraser valley, Canada	rural	26000 *	1000
	mixte	12000*	3000
	urbain	14000*	
Bakersfield , Californie	urbain		1100-1400
Chamonix, France	sub-urbain		500 (500-870)
Maurienne, France	sub-urbain		200 (200-520)
Azores, Portugal	rural	2	6
Aveiro, Portugal	rural maritime	32	1300
K-Puszt, Hongrie	rural	7	20
Schauins-land, Allemagne	Fond montagne	12	34
Puy de Dôme, France	Fond montagne	10	12
Sonnblick, Autriche	Fond montagne	21	653

*Les fortes concentrations mesurées l'été au Canada provenaient des feux de forêts

Concentrations en lévoglucosan relevées dans la littérature

les oxydes d'azote (NOx)

La famille des NOx regroupe de nombreuses espèces (protoxyde d'azote N₂O, sesquioxyde d'azote N₂O₃, pentoxyde d'azote N₂O₅,...), dont les deux principales sont le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂).

Le monoxyde d'azote est issu de la combinaison du diazote N₂ et du dioxygène O₂ atmosphériques lors de combustions à hautes températures. Ses sources anthropiques sont donc les installations de chauffage, les centrales thermiques de production d'électricité, les usines d'incinération et le parc automobile. Le monoxyde d'azote est ensuite rapidement oxydé par réactions avec le dioxygène O₂, l'ozone O₃,... afin de former du dioxyde d'azote.

Les sources naturelles majeures en oxydes d'azote correspondent aux orages (éclairs), aux éruptions volcaniques et aux activités bactériennes.

En raison de leurs origines, les oxydes d'azote sont présents dans l'atmosphère des villes et des zones industrielles. La transformation du monoxyde d'azote émis par les véhicules en dioxyde d'azote n'étant pas instantanée, les concentrations en monoxyde d'azote relevées à proximité d'axes routiers sont généralement plus élevées que celles en dioxyde d'azote. En revanche, sur les sites urbains éloignés des voies de circulation la pollution par le dioxyde d'azote est plus forte que celle par le monoxyde d'azote.

annexe 6 : les méthodes d'analyses

Les échantillons analysés en laboratoire ont été prélevés sur des filtres quartz de 150 mm de diamètre. Lors des prélèvements, les filtres sont exposés sur une période de 24 heures au cours de la période du 17 au 29 janvier 2014. Ces opérations ont été réalisées sur trois sites, deux dans la commune d'Angers (Remorque (MER2), Appentis (APPE)) et le dernier à Saint-Denis d'Anjou (SADE).

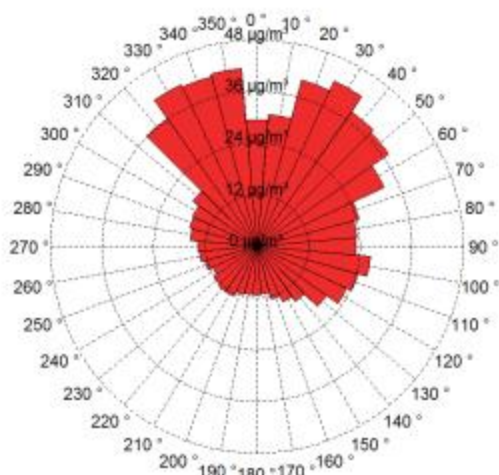
L'analyse des espèces ioniques des aérosols est réalisée par chromatographie ionique (modèle Dionex ICS300) avec une colonne CS16 pour l'analyse des cations et une colonne AS11 HC pour l'analyse des anions. Le protocole analytique est conforme à la norme CEN 16269. L'analyse des cations permet la quantification du sodium, de l'ammonium, du potassium, du magnésium et du calcium, tandis que celle des anions permet la quantification des ions chlorures, nitrates et sulfates.

L'analyse de la matière carbonée (carbone organique (OC) et carbone élémentaire (EC)) est effectuée directement sur un poinçon issu du filtre, à l'aide d'un analyseur thermo-optique « Sunset Laboratory ». Le principe de mesure est basé sur la détection par détecteur FID du CH_4 issu de la combustion puis réduction de la fraction carbonée présente dans l'échantillon. Une fraction d'échantillon (1 ou 1,5 cm^2) est placée dans un four à quartz et soumise à différents plateaux de température et sous des atmosphères plus ou moins oxydantes. La méthode thermique utilisée est la méthode EUSAAR2, avec une correction de la pyrolyse à la fois par absorption et par transmission, comme préconisé par le projet de norme CEN 16243.

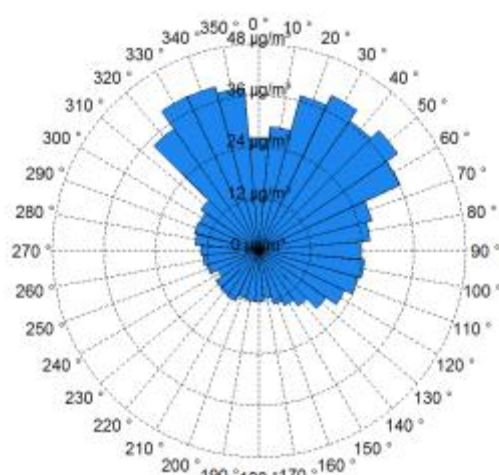
L'analyse des traceurs de biomasse se fait par chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC) avec détection ampérométrique pulsée (PAD) (modèle Dionex DX500 + ED40) grâce à des colonnes Metrosep. Ceci permet la quantification des saccharides anhydres (lévoglucosan, mannosan et galactosan).

annexe 7 : roses de pollution moyenne en PM₁₀, du 08/01/2014 au 08/04/2014, avec l'épisode de pollution du mois de mars

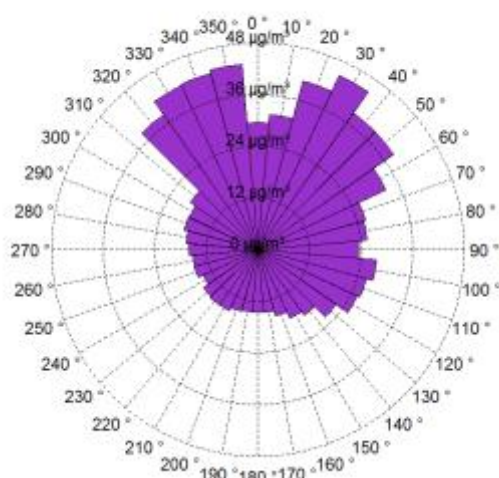
Rose de pollution moyenne en PM 10 du 08 janvier au 08 avril 2014 sur le site d'APPENTIS (avec les épisodes de pollution)



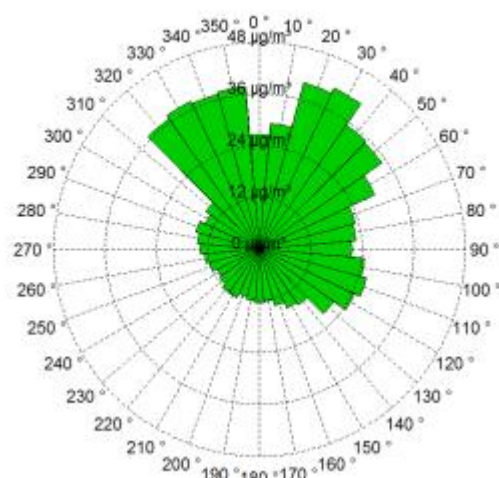
Rose de pollution moyenne en PM 10 du 08 janvier au 08 avril 2014 sur le site de la remorque (avec les épisodes de pollution)



Rose de pollution moyenne en PM 10 du 08 janvier au 08 avril 2014 sur le site des Beaux-Arts (avec les épisodes de pollution)

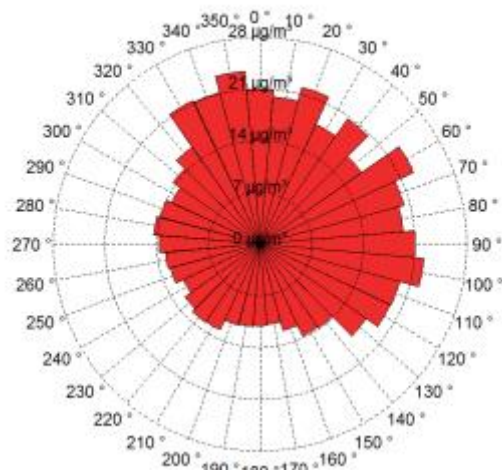


Rose de pollution moyenne en PM 10 du 08 janvier au 08 avril 2014 sur le site de Saint-Denis d'Anjou (avec les épisodes de pollution)

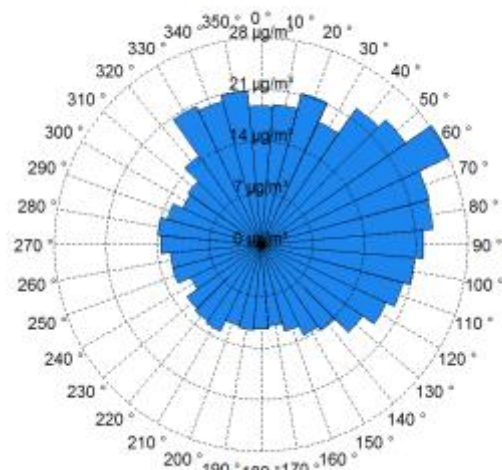


annexe 8 : roses de pollution moyenne en PM₁₀, du 08/01/2014 au 08/04/2014, sans l'épisode de pollution du mois de mars

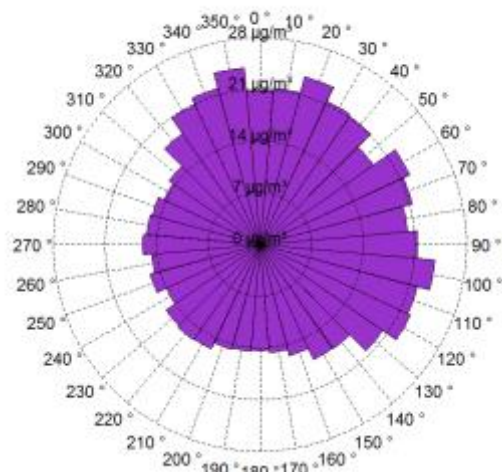
Rose de pollution moyenne en PM 10 du 08 janvier au 08 avril 2014 sur le site d'APPENTIS (sans les épisodes de pollution)



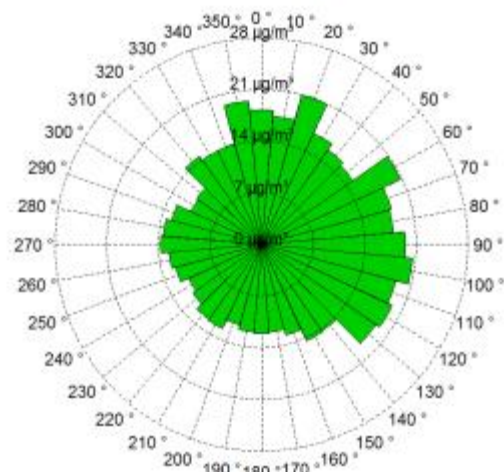
Rose de pollution moyenne en PM 10 du 08 janvier au 08 avril 2014 sur le site de la remorque (sans les épisodes de pollution)



Rose de pollution moyenne en PM 10 du 08 janvier au 08 avril 2014 sur le site des Beaux-Arts (sans les épisodes de pollution)

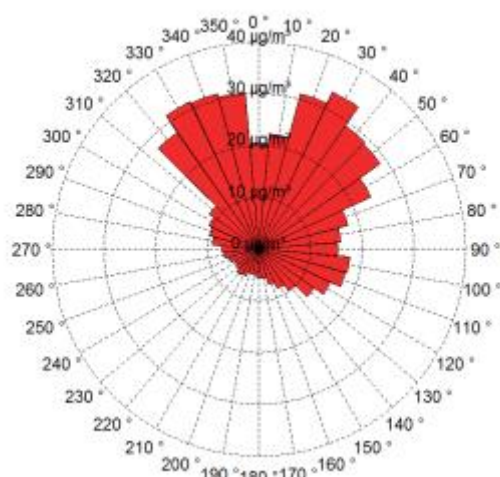


Rose de pollution moyenne en PM 10 du 08 janvier au 08 avril 2014 sur le site de Saint-Denis d'Anjou (sans les épisodes de pollution)

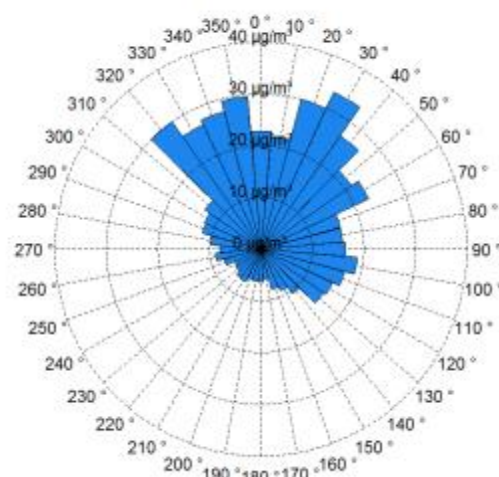


annexe 9 : roses de pollution moyenne en PM_{2,5}, du 08/01/2014 au 08/04/2014, avec l'épisode de pollution du mois de mars

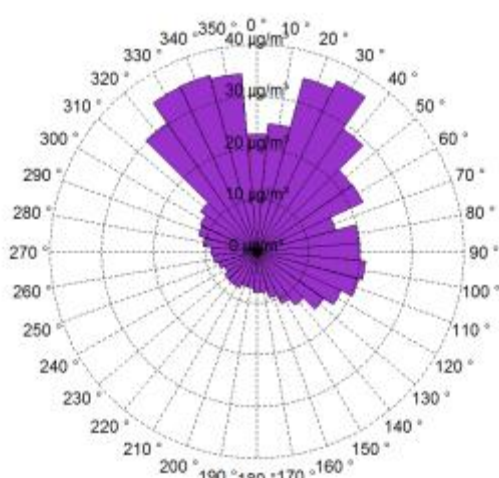
Rose de pollution moyenne en PM 2,5 du 08 janvier au 08 avril 2014
sur le site d'APPENTIS (avec les épisodes de pollution)



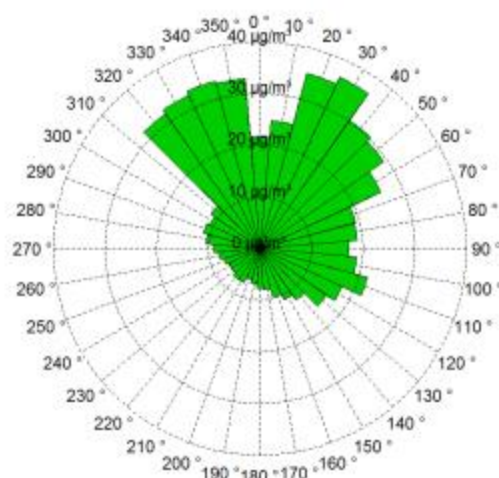
Rose de pollution moyenne en PM 2,5 du 08 janvier au 08 avril 2014
sur le site de la remorque (avec les épisodes de pollution)



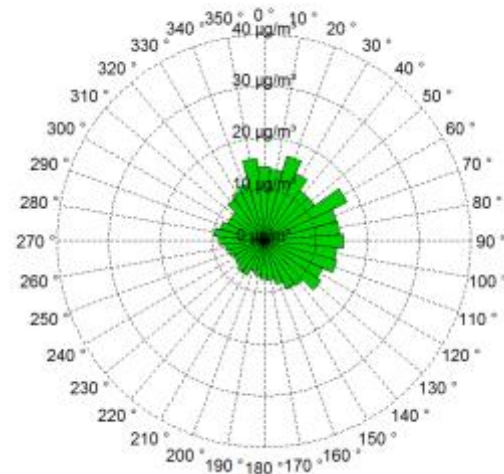
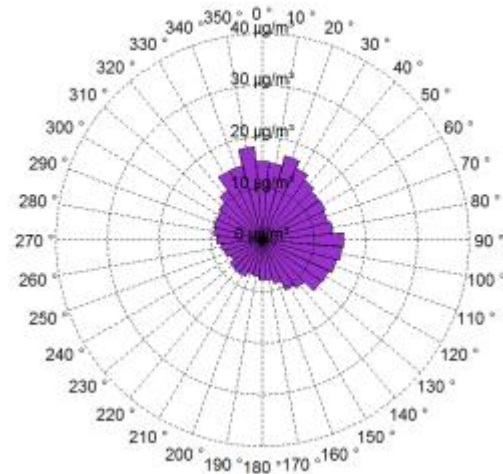
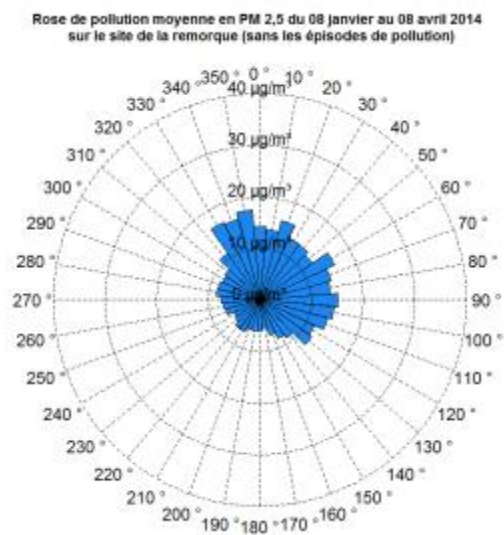
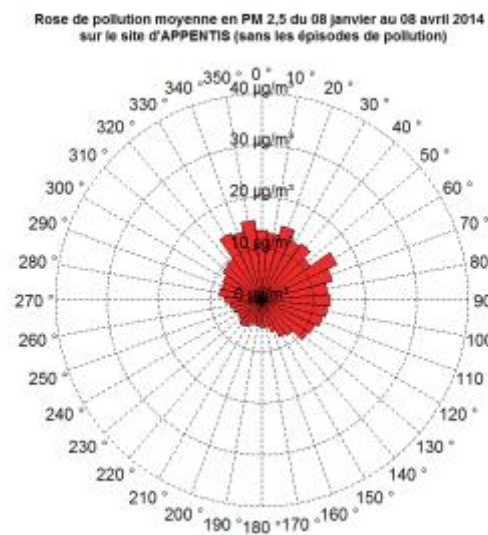
Rose de pollution moyenne en PM 2,5 du 08 janvier au 08 avril 2014
sur le site des Beaux-Arts (avec les épisodes de pollution)



Rose de pollution moyenne en PM 2,5 du 08 janvier au 08 avril 2014
sur le site de Saint-Denis d'Anjou (avec les épisodes de pollution)

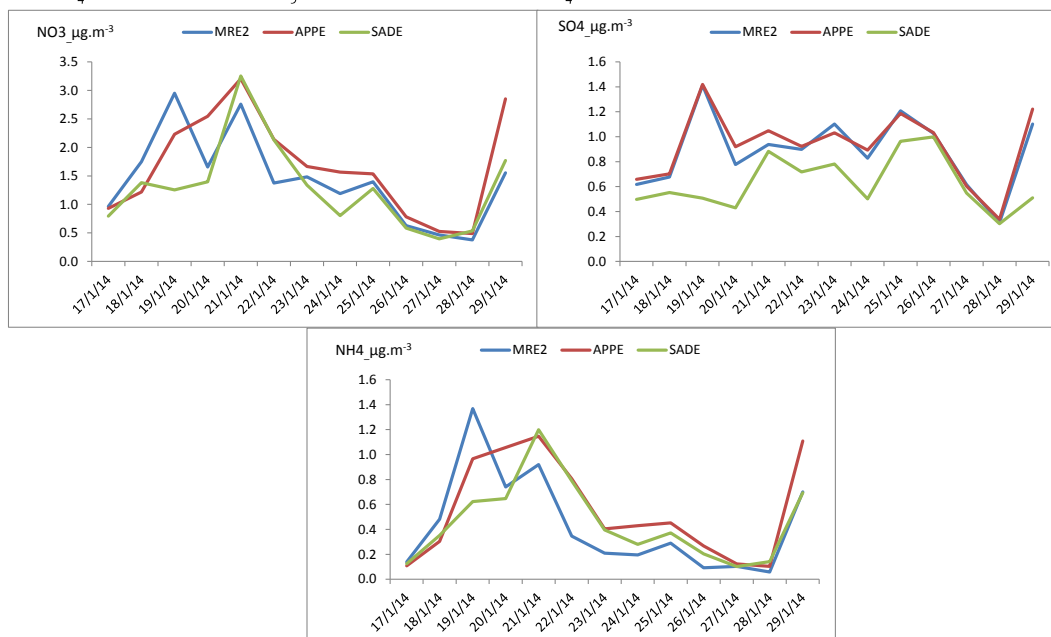


annexe 10 : roses de pollution moyenne en $PM_{2.5}$, du 08/01/2014 au 08/04/2014, sans l'épisode de pollution du mois de mars



annexe 11 : analyses du LGGE concernant les espèces ioniques

Les analyses des espèces ioniques majeures concernent les évolutions temporelles des sulfates (SO_4), des nitrates (NO_3) et de l'ammonium (NH_4).

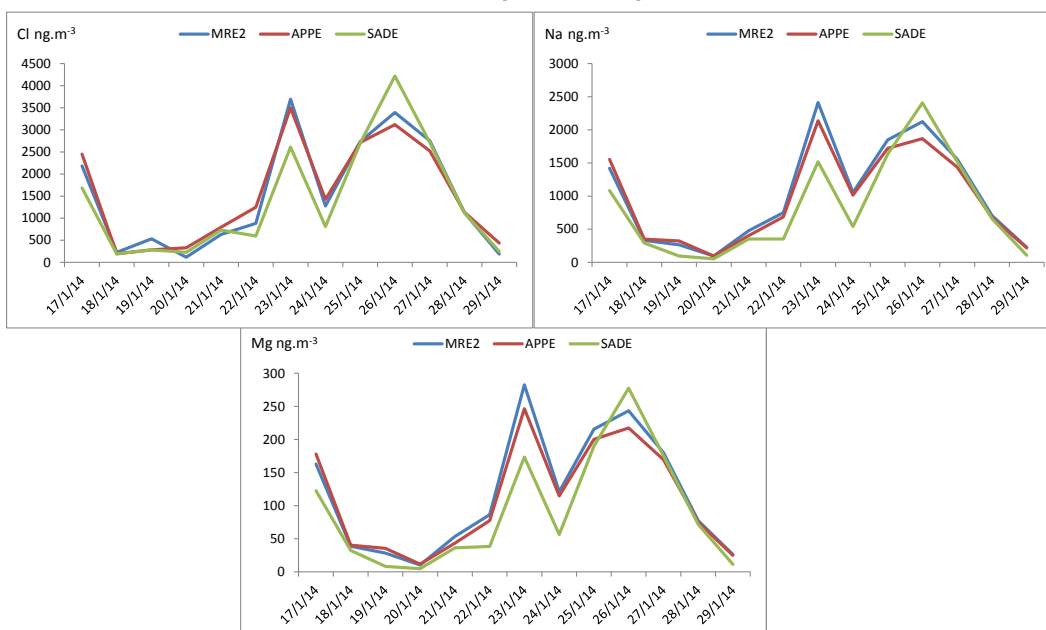


Évolutions temporelles des concentrations en nitrates (en haut à gauche), sulfates (en haut à droite) et ammonium (en bas) entre le 17 et le 29 janvier 2014

Les concentrations en nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) sont plutôt équivalentes sur les trois sites de mesure. Les évolutions temporelles de cette espèce sont très comparables et des maxima de concentrations sont relevés du 17 au 23 janvier. Pour le sulfate, les concentrations sont plus élevées au niveau des sites urbains sur une grande partie de la campagne.

Généralement il est considéré que les concentrations de sulfate sont plus homogène régionalement que celles du nitrate d'ammonium. Dans l'atmosphère, la réaction du SO_2 en sulfate est rapide. Une différence de concentrations, correspondant à la formation de sulfates, est observable entre les sites urbains et le site rural (distants de 40 km).

Les espèces ioniques, majoritairement issues de sources marines dans le contexte de cette étude, sont le chlore (Cl), le sodium (Na^+) et le magnésium (Mg^{2+}).

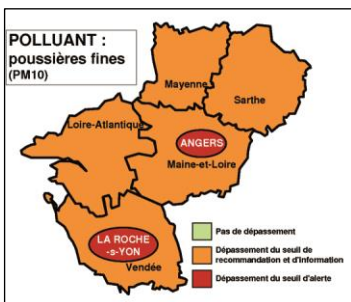
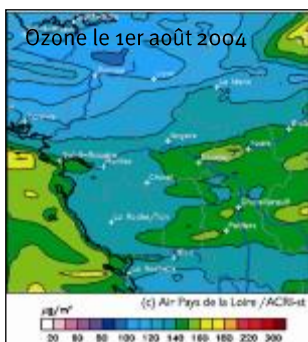
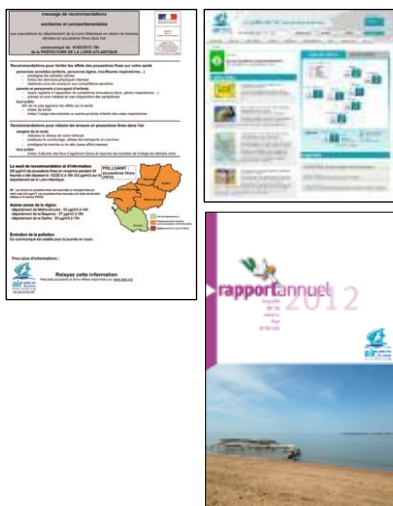


Évolutions temporelles des concentrations en chlore (en haut à gauche), sodium (en haut à droite) et magnésium (en bas) entre le 17 et le 29 janvier 2014

Les évolutions temporelles de ces trois espèces sont comparables sur les trois sites de mesure, avec des évolutions de concentrations vers de fortes valeurs sur la fin de la période, indiquant des épisodes marins. Lors de grands épisodes marins, ces espèces peuvent être mesurées à 200/300 km des côtes.

Dotée d'une solide expertise riche de trente ans d'expérience, Air Pays de la Loire est agréée par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie pour surveiller la qualité de l'air de la région des Pays de la Loire. Air Pays de la Loire regroupe de manière équilibrée l'ensemble des acteurs de la qualité de l'air : services de l'État et établissements publics, collectivités territoriales, industriels et associations et personnalités qualifiées.

surveiller pour savoir et comprendre

**informer pour prévenir**

Fonctionnant 24 heures sur 24, le dispositif permanent de surveillance est constitué d'une quarantaine de sites de mesure, déployés sur l'ensemble de la région : principales agglomérations, zones industrielles et zones rurales.

Air Pays de la Loire s'est doté de systèmes mobiles de mesure (laboratoires mobiles, préleveurs...). Ces appareils permettent d'établir un diagnostic complet de la qualité de l'air dans des secteurs non couverts par le réseau permanent. Des campagnes de mesure temporaires et ciblées sont ainsi menées régulièrement sur l'ensemble de la région.

Les mesures de qualité de l'air consistent le plus souvent à détecter de très faibles traces de polluants. Elles nécessitent donc le respect de protocoles très précis. Pour assurer la qualité de ces mesures, Air Pays de la Loire dispose d'un laboratoire d'étalonnage, airpl.lab accrédité par le Cofrac et raccordé au Laboratoire National d'Essais.

Pour évaluer la pollution dans les secteurs non mesurés, Air Pays de la Loire utilise des logiciels de modélisation. Ces logiciels simulent la répartition de la pollution dans le temps et l'espace et permettent d'obtenir une cartographie de la qualité de l'air. La modélisation permet par ailleurs d'estimer l'impact de la réduction, permanente ou ponctuelle, des rejets polluants. Elle constitue un outil d'aide à la décision pour les autorités publiques compétentes et les acteurs privés.

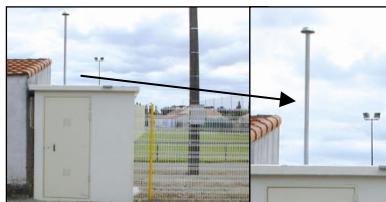
Si le public souhaite connaître la pollution prévue pour le lendemain afin de pouvoir adapter ses activités, les autorités politiques ont, elles, besoin d'anticiper les pics de pollution pour pouvoir prendre les mesures adaptées. En réponse à cette attente, Air Pays de la Loire réalise des prévisions de la pollution atmosphérique grâce à sa plateforme IRIS.

En cas d'épisodes de pollution, une information spécifique est adressée aux autorités publiques et aux médias. Suivant les concentrations de pollution atteintes, le préfet de département prend, si nécessaire, des mesures visant à réduire les émissions de polluants (limitations de vitesse, diminution d'activités industrielles...)

Le site Internet www.airpl.org donne accès à de très nombreuses informations sur la qualité de l'air des Pays de la Loire. Elles sont actualisées toutes les heures. On y trouve les cartes de pollution et de vigilance, les communiqués d'alerte, les indices de la qualité de l'air, les mesures de pollution heure par heure, les actualités, toutes les publications d'Air Pays de la Loire...

annexe 13 : techniques d'évaluation

mesures



les sites fixes

C'est le principal moyen de surveillance : il existe une trentaine de sites fixes dans les Pays de la Loire. Ils surveillent en continu la qualité de l'air des principales agglomérations de la région, des zones industrielles de Basse-Loire, et également dans un secteur rural dans l'est de la Vendée. Fonctionnant 24 heures sur 24, ils sont équipés d'analyseurs spécifiques des principaux indicateurs de pollution atmosphérique : dioxyde de soufre, oxydes d'azote, ozone, particules PM₁₀ ou PM_{2,5}, monoxyde de carbone, BTX. Ces stations sont reliées au poste central d'Air Pays de la Loire où les données sont traitées et servent le cas échéant à activer les procédures d'information et d'alerte.



les laboratoires mobiles

La région des Pays de la Loire est dotée de deux laboratoires mobiles de surveillance de la qualité de l'air. Ces systèmes, équipés d'analyseurs spécifiques (NO_x, SO₂, O₃, PM₁₀, CO) comme les sites fixes, permettent d'établir un diagnostic de la qualité de l'air dans des secteurs non couverts par le réseau permanent. Les applications sont diverses : impact industriel ou urbain, validation de futurs sites fixes, communication...

annexe 14 : types des sites de mesure

Les sites de mesure sont localisés selon des objectifs précis de surveillance de la qualité de l'air, définis au plan national.



sites urbains

Les sites urbains sont localisés dans une zone densément peuplée en milieu urbain et de façon à ne pas être soumis à une source déterminée de pollution ; ils caractérisent la pollution moyenne de cette zone.



sites périurbains

Les sites périurbains sont localisés dans une zone peuplée en milieu périurbain, de façon à ne pas être soumis à une source déterminée de pollution et à caractériser la pollution moyenne de cette zone.



sites ruraux

Les sites ruraux participent à la surveillance de l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de fond (notamment photochimique).

annexe 15 : polluants

les oxydes d'azote (NOx)

Les NOx comprennent essentiellement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Ils résultent de la combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air à haute température. Environ 95 % de ces oxydes sont la conséquence de l'utilisation des combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel). Le trafic routier (59 %) en est la source principale. Ils participent à la formation des retombées acides. Sous l'action de la lumière, ils contribuent à la formation d'ozone au niveau du sol (ozone troposphérique).

Le monoxyde d'azote présent dans l'air inspiré passe à travers les alvéoles pulmonaires, se dissout dans le sang où il limite la fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine. Les organes sont alors moins bien oxygénés.

Le dioxyde d'azote pénètre dans les voies respiratoires profondes. Il fragilise la muqueuse pulmonaire face aux agressions infectieuses, notamment chez les enfants. Aux concentrations rencontrées habituellement, le dioxyde d'azote provoque une hyperréactivité bronchique chez les asthmatiques.

les particules fines (ou poussières)

Les particules ou poussières constituent en partie la fraction la plus visible de la pollution atmosphérique (fumées). Elles ont pour origine les différentes combustions, le trafic routier et les industries. Elles sont de nature très diverses et peuvent véhiculer d'autres polluants comme des métaux lourds ou des hydrocarbures. De diamètre inférieur à 10 µm (PM₁₀), elles restent plutôt en suspension dans l'air. Supérieures à 10 µm, elles se déposent, plus ou moins vite, au voisinage de leurs sources d'émission. Les particules plus fines, appelées PM_{2,5} (diamètre inférieur à 2,5 µm) pénètrent plus profondément dans les poumons. Celles-ci peuvent rester en suspension pendant des jours, voire pendant plusieurs semaines et parcourir de longues distances.

La profondeur de pénétration des particules dans l'arbre pulmonaire est directement liée à leurs dimensions, les plus grosses étant arrêtées puis éliminées au niveau du nez et des voies respiratoires supérieures. Le rôle des particules en suspension a été montré dans certaines atteintes fonctionnelles respiratoires, le déclenchement de crises d'asthme et la hausse du nombre de décès pour cause cardio-vasculaire ou respiratoire, notamment chez les sujets sensibles (enfants, bronchitiques chroniques, asthmatiques...).

Certains hydrocarbures aromatiques polycycliques portés par les particules rejetées par les véhicules sont classés comme probablement cancérogènes chez l'homme.

le dioxyde de soufre (SO₂)

C'est le principal composant de la pollution « acide ». Malgré une diminution de 60 % en France entre 1980 et 1990, du essentiellement à la réduction de la production électrique par les centrales thermiques, le SO₂ provient à plus de 85 % de l'utilisation des combustibles contenant du soufre (fuel et charbon).

Le dioxyde de soufre est un gaz irritant, notamment pour l'appareil respiratoire. Les fortes pointes de pollution peuvent déclencher une gêne respiratoire chez les personnes sensibles (asthmatiques, jeunes enfants...). Les efforts physiques intenses accroissent les effets du dioxyde de soufre. Aux concentrations habituellement observées dans l'environnement, une très grande proportion du dioxyde de soufre inhalé est arrêtée par les sécrétions muqueuses du nez et des voies respiratoires supérieures. Le dioxyde de soufre qui atteint le poumon profond, passe dans la circulation sanguine puis est éliminé par voie urinaire. Des études épidémiologiques ont montré qu'une hausse des taux de dioxyde de soufre s'accompagnait notamment d'une augmentation du nombre de décès pour cause cardio-vasculaire.

les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Ce sont des composés complexes résultant de la fusion de plusieurs cycles benzéniques. Cette catégorie d'hydrocarbures se présente dans l'air généralement liée aux particules. Ils proviennent de la combustion incomplète du charbon et des fuels. En ville, les moteurs diesel sont une cause importante de pollution de l'air par les HAP.

l'ammoniac (NH₃)

Résultant de la dégradation de l'urée animale, l'ammoniac est un gaz produit essentiellement par les activités d'élevage. Très soluble dans l'eau, il se transforme rapidement en ammonium et forme différents sels (sulfate d'ammonium, nitrate d'ammonium,...). Ce gaz a une action irritante sur les muqueuses de l'organisme. Il participe également à la dégradation de la qualité des eaux, en provoquant l'appauvrissement de leur teneur en oxygène (lacs et étangs en particulier) et en favorisant la prolifération des algues.

annexe 16 : seuils de qualité de l'air 2014

TYPE DE SEUIL (µg/m³)	DONNÉE DE BASE	POLLUANT												
		Ozone	Dioxyde d'azote	Oxydes d'azote	Poussières (PM10)	Poussières (PM2.5)	Plomb	Benzène	Monoxyde de carbone	Dioxyde de soufre	Arsenic	Cadmium	Nickel	Benzo(a)pyrène
		décret 2010-1250 du 21/10/2010												
valeurs limites	moyenne annuelle	-	40	30 ⁽³⁾	40	26 ⁽²⁾	0,5	5	-	20 ⁽¹⁾	-	-	-	-
	moyenne hivernale	-	-	-	-	-	-	-	-	20 ⁽¹⁾	-	-	-	-
	moyenne journalière	-	-	-	50 ⁽³⁾	-	-	-	-	125 ⁽⁴⁾	-	-	-	-
	moyenne 8-horaire maximale du jour	-	-	-	-	-	-	-	10 000	-	-	-	-	-
	moyenne horaire	-	200 ⁽⁵⁾	-	-	-	-	-	-	350 ⁽⁶⁾	-	-	-	-
seuils d'alerte	moyenne horaire	240 ⁽⁷⁾ 1 ^{er} seuil : 240 ⁽⁸⁾ 2 ^{ème} seuil : 300 ⁽⁸⁾ 3 ^{ème} seuil : 360	400 ⁽⁸⁾ 200 ⁽⁹⁾	-	-	-	-	-	-	500 ⁽⁸⁾	-	-	-	-
	moyenne 24-horaire	-	-	-	80 ⁽¹⁰⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-
seuils de recommandation et d'information	moyenne horaire	180	200	-	-	-	-	-	-	300	-	-	-	-
	moyenne 24-horaire	-	-	-	50 ⁽¹⁰⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-
objectifs de qualité	moyenne annuelle	-	40	-	30	10	0,25	2	-	50	-	-	-	-
	moyenne journalière	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	moyenne 8-horaire maximale du jour	120 ⁽¹¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	moyenne horaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	AOT 40	6000 ⁽¹²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
valeurs cibles	AOT 40	18 000 ⁽¹³⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	moyenne annuelle	-	-	-	-	20	-	-	-	-	0,006 ⁽¹⁴⁾	0,005 ⁽¹⁴⁾	0,02 ⁽¹⁵⁾	0,001 ⁽¹⁵⁾
	moyenne 8-horaire maximale du jour	120 ⁽¹⁴⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) pour la protection de la végétation

(2) valeur intégrant la marge de tolérance applicable en 2014 : 1 (valeur applicable en 2015 : 25)

(3) à ne pas dépasser plus de 35 j par an (percentile 90,4 annuel)

(4) à ne pas dépasser plus de 3 j par an (percentile 99,2 annuel)

(5) à ne pas dépasser plus de 18 h par an (percentile 99,8 annuel)

(6) à ne pas dépasser plus de 24 h par an (percentile 99,7 annuel)

(7) pour une protection sanitaire pour toute la population, en moyenne horaire

(8) dépassé pendant 3 h consécutives

(9) si la procédure de recommandation et d'information a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain

(10) depuis le 1^{er} janvier 2012

(11) pour la protection de la santé humaine : maximum journalier de la moyenne sur 8 heures, calculé sur une année civile

(12) calculé à partir des valeurs enregistrées sur 1 heure de mai à juillet

(13) en moyenne sur 5 ans, calculé à partir des valeurs enregistrées sur 1 heure de mai à juillet

(14) pour la protection de la santé humaine : maximum journalier de la moyenne sur 8 heures, à ne pas dépasser plus de 25 j par an en moyenne sur 3 ans

(15) à compter du 31 décembre 2012

valeur limite : niveau maximal de pollution atmosphérique, fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement.

seuil d'alerte : niveau de pollution atmosphérique au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises.

seuil de recommandation et d'information : niveau de pollution atmosphérique qui a des effets limités et transitoires sur la santé en cas d'exposition de courte durée et à partir duquel une information de la population est susceptible d'être diffusée.

objectif de qualité : niveau de pollution atmosphérique fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre dans une période donnée.

valeur cible : niveau de pollution fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée.

bibliographie

- [1] BIOWATTS, *Production d'électricité verte en cogénération bois*
- [2] Dossier de presse - 5 mars 2013 – Inauguration de Biowatts
- [3] Rapport d'analyses établi par Antoine Waked et JL Jaffrezo, du 20/03/2014
- [4] Airparif, *Origines des particules en Ile-de-France*, septembre 2011
- [5] Ecomesure, brochure de l'aéthalomètre MAGEE AE-33
- [6] Site internet : <http://www.flammeverte.org>
- [7] Site internet : <http://www.lcsqa.org/actualite/qualite-air-severe-episode-pollution-france-decembre-2013>
- [8] Site internet : <http://www.lcsqa.org/actualite/bilan-episode-pollution-aux-particules-mars-2014>
- [9] AMPASEL, ASCOPARG, COPARLY, *Etude de traceurs de combustion de la biomasse dans l'air ambiant autour de trois chaufferies bois de la région Rhône-Alpes*, 2010
- [10] LGGE, LCME, *Connaissance de l'origine des émissions dues à la combustion de la biomasse sur le secteur Grenoblois*, 2010
- [11] ADEME, *PARTICUL'AIR : Etude inter-régionale de la pollution particulaire en zone rurale*, 2011
- [12] Coddeville P. et Guillermo R., *Les retombées atmosphériques en France, réseau MERA 1990*, École des Mines de Douai Éd., 71 p. + annexes, 1993
- [13] N Kehrwald, *Levoglucon as a specific marker of fire events in Greenland snow*, 2012
- [14] CITEPA, *Rapport national d'inventaire : Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France séries sectorielles et analyses étendues – Format SECTEN – Avril 2013*
- [15] ATLANBOIS, *Note sur le bois énergie en chaufferie automatique en région Pays de la Loire*, Janvier 2012
- [16] Commissariat Général au Développement Durable, *Repères : Chiffres clés des énergies renouvelables*, Edition 2013
- [17] Air Pays de la Loire, *Bilan de l'épisode de pollution de l'air de mars 2014 par les particules PM10 en Pays de la Loire*, Avril 2014

glossaire

abréviations

Aasqa	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air
Ademe	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
Ader	Association des directeurs et experts des réseaux œuvrant dans le domaine de la surveillance de la qualité de l'air
ADMS	Atmospheric dispersion modelling system
Afnor	Agence française de normalisation
Airpl.lab	Laboratoire d'étalonnage d'Air Pays de la Loire
ANR	Agence nationale de la recherche
Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOT40	accumulated exposure over threshold 40
ARS	Agence régionale de santé
As	arsenic
BASEMIS	base des émissions de polluants et GES
BTX	benzène, toluène, éthyl-benzène, xylènes
CARENE	communauté d'agglomération de la région nazairienne et de l'estuaire
CCIN	chambre de commerce et d'industrie de Nantes
Cd	cadmium
C6H6	benzène
CO	monoxyde de carbone
CO2	dioxyde de carbone
COFRAC	comité français d'accréditation
COV	composés organiques volatils
CRCAE	comité régional climat air énergie
CSHPF	Conseil supérieur d'hygiène publique de France
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
CTVD	Centre de Traitement et de Valorisation des Déchets
Cu	cuivre
Dreal	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
EMEP	European monitoring and evaluation programme (programme européen de surveillance des retombées atmosphériques)
ERP	Etablissement recevant du public
FDMS	Filter dynamics measurement system
Fe	fer
GES	gaz à effet de serre
HAM	hydrocarbures aromatiques monocycliques
HAP	hydrocarbures aromatiques polycycliques
HCSP	haut conseil de la santé publique
HFC	hydrofluorocarbones

IARC	centre international de recherche sur le cancer
IRIS	plateforme régionale de prévision de la qualité de l'air d'Air Pays de la Loire
I-TEQ	équivalent toxiques dioxines et furannes
JTA	journées techniques des AASQA
LCSQA	laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air
Medde	Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
Mera	Mesure des REtombées Atmosphériques
ng	nanogramme (= 1 milliardième de gramme)
Ni	nickel
NO	monoxyde d'azote
NO ₂	dioxyde d'azote
NOx	oxydes d'azote (= dioxyde d'azote + monoxyde d'azote)
O ₃	ozone
OMS	Organisation mondiale de la santé
OQAI	Observatoire de la qualité de l'air intérieur
PCET	Plan climat énergie territorial
PDU	Plan de déplacements urbains
PFC	Hydrocarbures perfluorés
pg	picogramme
PM ₁₀	particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm
PM _{2,5}	particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm
PNSE	plan national santé environnement
PPA	plan de protection de l'atmosphère
Ppm	partie par million
PRSE	plan régional santé environnement
PRQA	plan régional pour la qualité de l'air
PSQA	programme de surveillance de la qualité de l'air
RSD	règlement sanitaire départemental
SCOT	schéma de cohérence territoriale
SF6	hexafluorure de soufre
SO ₂	dioxyde de soufre
SRCAE	schéma régional climat air énergie
TEOM	tapered element oscillating microbalance
TU	temps universel
US EPA	Agence américaine de protection de l'environnement
µg	microgramme (= 1 millionième de gramme)
ZAC	zone d'agglomération
ZAS	zone administrative de surveillance
Zn	zinc
ZR	zone rurale
ZUR	zone urbanisée

définitions

année civile	période allant du 1er janvier au 31 décembre
AOT ₄₀	somme des différences entre les moyennes horaires supérieures à 80 µg/m ³ et 80 µg/m ³ , calculée sur l'ensemble des moyennes horaires mesurées entre 8 h et 20 h de mai à juillet
heure TU	heure exprimée en Temps Universel (= heure solaire)
hiver	période allant du 1er octobre au 31 mars
métaux	arsenic, cadmium, nickel, plomb
moyenne 8-horaire	moyenne sur 8 heures
percentile x	niveau de pollution respecté par x % des données de la série statistique considérée
taux de représentativité	pourcentage de données valides sur une période considérée
valeur cible	niveau de pollution fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre là dans la mesure du possible sur une période donnée
objectif de qualité	niveau de pollution atmosphérique fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre dans une période donnée
valeur limite	niveau maximale de pollution atmosphérique, fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement
seuil de recommandation et information	niveau de pollution atmosphérique qui a des effets limités et transitoires sur la santé en cas d'exposition de courte durée et à partir duquel une information de la population est susceptible d'être diffusée
seuil d'alerte	niveau de pollution atmosphérique au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises

précisions sur les calculs statistiques

Sauf indication contraire, les données de base utilisées dans les calculs statistiques sont bimensuelles pour les BTX et horaires pour les autres paramètres mesurés. Les calculs statistiques annuels sont validés seulement si au moins 75% des données sont valides sur l'année et s'il n'existe aucune période sans donnée de plus de 720 heures consécutives dans l'année. Pour le calcul de l'AOT₄₀, 90% de données valides sont exigées. Les mesures indicatives sont considérées comme représentatives si l'air est prélevé pendant au moins 14 % de l'année (sauf pour l'ozone : plus de 10 % sur l'été et les dépôts totaux en HAP : 33 % de l'année).

air pays de la loire

7, allée Pierre de Fermat – CS 70709 – 44307 Nantes cedex 3

Tél + 33 (0)2 28 22 02 02

Fax + 33 (0)2 40 68 95 29

contact@airpl.org

