

Etude de l'influence de la chaufferie biomasse de Vénissieux sur son environnement atmosphérique

Mars 2024

Diffusion : Mars 2024

Siège social :
3 allée des Sorbiers 69500 BRON
Tel. 09 72 26 48 90
contact@atmo-aura.fr



Conditions de diffusion

Dans le cadre de la réforme des régions introduite par la Nouvelle Organisation Territoriale de la République (loi NOTRe du 16 juillet 2015), les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air de l'Auvergne (ATMO Auvergne) et de Rhône-Alpes (Air Rhône-Alpes) ont fusionné le 1er juillet 2016 pour former Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (décret 98-361 du 6 mai 1998) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'Etat français et de l'article L.220-1 du Code de l'environnement. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de l'article L.220-2 du Code de l'Environnement.

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site www.atmo-auvergnerhonealpes.fr

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (2024) Etude de l'influence de la chaufferie biomasse de Vénissieux sur son environnement atmosphérique.

Les données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.

Par ailleurs, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

- depuis le [formulaire de contact](#)

- par mail : contact@atmo-aura.fr

- par téléphone : 09 72 26 48 90

Financement

Cette étude d'amélioration de connaissances a été rendue possible grâce à l'aide financière particulière de la Métropole de Lyon.

Toutefois, elle n'aurait pas pu être exploitée sans les données générales de l'observatoire, financé par l'ensemble des membres d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Résumé

Le recours au bois pour la production de chaleur est encouragé en France afin de répondre à l'objectif d'utilisation des énergies renouvelables. Sa combustion soulève toutefois des enjeux importants de qualité de l'air. Les débats se focalisent surtout sur le chauffage individuel, responsable de la majorité des émissions polluantes, notamment les particules fines. Plus récemment, ils se sont aussi portés sur les chaufferies bois collectives, ainsi que sur celles raccordées à un réseau de chaleur urbain, car même si elles sont proportionnellement peu émettrices, elles peuvent générer des nuisances locales.

Dans le cadre de l'implantation d'une nouvelle chaufferie collective biomasse à Vénissieux, la métropole de Lyon a souhaité vérifier son impact local sur la qualité de l'air.

L'Observatoire Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, qui a déjà été amené à travailler sur l'impact des chaufferies biomasse sur leur environnement, a accompagné la métropole de Lyon pour évaluer l'impact de la nouvelle chaufferie biomasse implantée rue Sentuc à Vénissieux.

Cette surveillance a répondu à deux objectifs :

- évaluer l'influence potentielle de l'installation sur son environnement immédiat et sur les populations riveraines,
- déterminer les concentrations des polluants mesurés au niveau des zones de retombées maximales.

Les mesures ont été réalisées comme prescrit, en des lieux où l'impact de l'installation est supposé être le plus important. Les mesures ont été faites sur deux périodes :

- une période de référence : avant mise en fonctionnement de la chaufferie de Vénissieux (Sentuc) ;
- une période où l'installation a fonctionné à plein régime.

Les campagnes de mesure ont été réalisées du 16 novembre au 05 janvier 2023 et du 15 novembre au 20 décembre 2023. La surveillance a ciblé les polluants caractéristiques des rejets d'une chaufferie biomasse (particules fines PM10 et PM2,5, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, Sucres, Carbones organiques et élémentaires).

Les résultats issus de l'évaluation quantitative des particules PM10 et PM2,5 n'ont pas mis en évidence d'influence spécifique et significative de la chaufferie sur son environnement immédiat.

Cependant, la seule mesure de la masse des particules n'est pas suffisante pour évaluer l'impact d'une chaufferie biomasse. Des analyses de la composition chimique des particules ont donc été réalisées.

Les résultats de cette seconde évaluation, qualitative, n'ont pas permis de dégager une influence nette de la chaufferie sur les zones d'exposition maximales environnantes, notamment pour les sucres et les carbonés organiques et élémentaires. Il en est de même pour les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP).

Globalement, même si la réalisation de mesures à proximité immédiate d'une installation n'a pu mettre en évidence un impact ponctuel et local, il ne faut pas négliger le fait qu'elle participe, avec toutes les autres sources, à l'augmentation de la pollution de fond dont les effets se font sentir sur un plus vaste territoire et de façon chronique.



Sommaire

1. PRESENTATION DE L'ETUDE	8
1.1. Contexte et objectifs de l'étude	8
1.2. Rappels sur la combustion de biomasse	8
1.2.1. Qu'est-ce que la combustion de biomasse et quels sont les enjeux sur la qualité de l'air ?	8
1.2.2. Quelles sont les sources à l'origine des émissions de particules fines ?	9
1.2.3. Quels sont les traceurs de combustion de biomasse ?	10
2. CHOIX METHODOLOGIQUES	13
2.1 Implantation des sites de mesure	13
2.1.1. Site Nord	14
2.1.2. Site Sud	14
2.1.3 Site Ecole Gabriel Péri	15
2.2 Polluants visés et objectifs de prélèvements	16
2.2.1. Nature des prélèvements	17
2.2.2. Intégration de mesures de l'observatoire d'Atmo Auvergne Rhône-Alpes	17
2.2.3. Echantillonnage	18
3. RESULTATS	21
3.1 Paramètres météorologiques	21
3.1.1. Direction du vent	21
3.1.2. Vitesse du vent	22
3.1.3 Les températures	23
3.2 Activité de la chaufferie durant la période d'étude	24
3.3 Analyse quantitative des particules	26
3.3.1. Les particules PM10	26
3.3.2. Les particules PM2,5	27
3.3.3. Le ratio PM2.5/PM10	28
3.4. Analyse qualitative des traceurs de biomasse dans les particules	30
3.4.1. Proportions de carbone organique (OC) et carbone élémentaire (EC)	30
3.4.2. Mesure du lévoglucosan	32
3.4.3. Analyse des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	35
4. CONCLUSION	41

Illustrations

Figure 1 - Répartition des émissions de PM2.5 par source de chauffage (SECTEN) / Métropole de Lyon (2021)	9
Figure 2 - Répartition des émissions de particules PM2,5 par secteur d'activité (PCAET) / Métropole de Lyon (2021)	10
Figure 3 - Composition chimique relative des PM10 mesurée sur le site de Vénissieux (urbain avec influence industrielle) en juin et décembre 2009 et sur le site de Grenoble les Frênes (urbain de fond) en décembre 2008 et juillet 2009.....	11
Figure 4 - HAP prédominants dans les émissions de différentes sources	12
Figure 5 Photo aérienne du secteur de Vénissieux avec la nouvelle chaufferie implantée rue Sentuc (en bleu) et les sites de mesures (en rouge)	13
Figure 6 Photographie aérienne de l'implantation du site Nord	14
Figure 7 Photographies du site Nord avec les appareils de mesures.....	14
Figure 8 Photographie aérienne de l'implantation du site Vénissieux Sud	15
Figure 9 Photographies du site Sud avec les appareils de mesures	15
Figure 10 Photographie aérienne de l'implantation du site de l'école Gabriel Péri	16
Figure 11 Photographies du troisième site de mesures.....	16
Figure 12 Implantation d'un site de mesures	17
Figure 13 - Plan d'échantillonnage proposé dans le cadre de la surveillance environnementale de la chaufferie de Vénissieux	19
Figure 14 Planning des campagnes de mesures de l'étude.....	20
Figure 15 Rose des vents mesurés sur la station de Solaize pendant la campagne 2022 à gauche et 2023 à droite	21
Figure 16 Rose des vents mesurés par microcapteur sur le site Vénissieux Nord lors de la campagne 2022 à gauche et lors de la campagne 2023 à droite	22
Figure 17 Rose des vents mesurés par microcapteur sur le site Vénissieux Sud lors de la campagne 2022 à gauche et lors de la campagne 2023 à droite.....	22
Figure 18 Statistiques des vitesses de vent en m/s mesurées par microcapteurs et sur le site de Solaize pendant la campagne 2022 (orange) et la campagne 2023 (vert).....	23
Figure 19 Vitesse de vent mesurées par les microcapteurs sur les sites de Vénissieux et sur le site de référence de Solaize	23
Figure 20 Statistiques des températures mesurées par microcapteurs pendant la campagne 2022 (orange) et la campagne 2023 (vert).	24
Figure 21 Températures horaires mesurées par les microcapteurs pendant la campagne de 2022 à gauche et la campagne de 2023 à droite.....	24
Figure 22 Puissance des deux chaufferies de Vénissieux pendant la campagne de 2023	25
Figure 23 Puissance de la chaufferie Vénissieux Energie pendant la campagne de 2022.....	25
Figure 24 Concentrations en particules PM10 mesurées par analyseur sur le site de référence de Lyon Centre (Lyon Centre – ref) et concentrations en particules PM10 mesurées par microcapteur sur le site de Lyon Centre et sur les trois sites de Vénissieux	26
Figure 25 Concentrations horaires en PM10 en 2022 à gauche et en 2023 à droite.....	26
Figure 26 Cartographie des PM10 issue de la modélisation pour la journée du 19 décembre 2023.....	27
Figure 27 Concentrations horaires en PM10 sur les stations urbaines du bassin lyonnais entre le 16 et le 23 décembre 2023 ..	27
Figure 28 - Comparaison des concentrations horaires (et moyennes) en PM2,5 entre les sites d'étude et les sites de référence urbaine.....	28
Figure 29 - Comparaison des concentrations journalières en PM2,5 entre les sites d'étude et les sites de référence urbaine....	28
Figure 30 - Ratio PM2.5/PM10 et vitesse du vent sur le site Vénissieux Nord.....	29
Figure 31 Ratio PM2.5/PM10 et vitesse du vent sur le site de Vénissieux Sud	29
Figure 32 Concentration moyenne de carbone organique et carbone élémentaire sur les deux sites de Vénissieux et le site de référence de Lyon Centre	30

Figure 33 - Concentrations journalières en carbone organique, carbone élémentaire et PM10 sur le site Vénissieux Nord (Société logistique)	31
Figure 34 Concentrations journalières en carbone organique, carbone élémentaire et PM10 sur le site Vénissieux Sud (Voirie ML)	31
Figure 35 Concentrations journalières en carbone organique, carbone élémentaire et PM10 sur le site de Lyon Centre	31
Figure 36 Proportion moyenne de carbone organique et carbone élémentaire dans les PM10 sur les sites de Vénissieux Nord (à gauche) et sur le site de Vénissieux Sud (à droite)	32
Figure 37 Proportion moyenne de carbone organique et carbone élémentaire dans les PM10 sur le site de référence de Lyon Centre	32
Figure 38 Evolution de la concentration du levoglucosan dans les PM10 entre la campagne 2022 (à gauche) et la campagne 2023 (à droite)	33
Figure 39 Statistiques des concentrations journalières de levoglucosan sur les trois sites de l'étude	33
Figure 40 - Concentrations journalières en lévoglucosan en ng/m³ et PM10 en microg/m³ sur le site Nord société logistique	34
Figure 41 Concentrations journalières en lévoglucosan en ng/m³ et PM10 en microg/m³ sur le site Sud Vénissieux voirie ML	34
Figure 42 Concentrations journalières en lévoglucosan en ng/m³ et PM10 en microg/m³ sur le site de référence de Lyon Centre	34
Figure 43 - Contribution de la combustion de biomasse à la fraction organique des PM10 sur le site de Vénissieux Nord Sté logistique	35
Figure 44 Contribution de la combustion de biomasse à la fraction organique des PM10 sur le site Sud Vénissieux	35
Figure 45 - Concentrations journalières en B(a)P sur l'ensemble des sites de l'étude lors de la campagne de 2022 (à gauche) et lors de la campagne 2023 (à droite)	36
Figure 46 - Répartition des émissions de B(a)P par secteur d'activité (PCAET) / Métropole de Lyon (2021)	36
Figure 47 Statistiques des concentrations journalières de benzo(a)pyrène en ng/m³ sur les deux sites de l'étude (Vénissieux Nord et Vénissieux Sud) et sur les deux sites de référence (Lyon Centre – urbain de fond et Sud Lyonnais Vénissieux – influence industrielle)	37
Figure 48 Concentrations en benzo(a)pyrène sur le site Vénissieux Nord lors de la campagne de 2022 à gauche et lors de la campagne de 2023 à droite	37
Figure 49 Concentrations en benzo(a)pyrène sur le site de Vénissieux Sud lors de la campagne de 2022 à gauche et lors de la campagne de 2023 à droite	37
Figure 50 Concentrations en benzo(a)pyrène sur le site de Lyon Centre lors de la campagne de 2022 à gauche et lors de la campagne de 2023 à droite	37
Figure 51 : Somme journalière des 9 HAP pour le site de Vénissieux Nord en 2022 (à gauche) et en 2023 (à droite)	38
Figure 52 Somme journalière des 9 HAP pour le site de Vénissieux Sud en 2022 (à gauche) et en 2023 (à droite)	38
Figure 53 Somme journalière des 9 HAP pour le site de référence de Lyon Centre en 2022 (à gauche) et en 2023 (à droite)	38
Figure 54 Somme journalière des 9 HAP pour le site de référence de Sud Lyonnais Vénissieux (site péri urbain sous influence industrielle)	39
Figure 55 - Calcul du ratio IP/(IP+BghiP) sur le site de Vénissieux Nord lors de la campagne 2022 à gauche et 2023 à droite .39	
Figure 56 Calcul du ratio IP/(IP+BghiP) sur le site de Vénissieux Sud Nord lors de la campagne 2022 à gauche et 2023 à droite	40
Figure 57 Calcul du ratio ratio IP/(IP+BghiP) sur le site de référence de Lyon Centre lors de la campagne 2022 à gauche et 2023 à droite	40
Figure 58 Calcul du ratio ratio IP/(IP+BghiP) sur le site de référence de Sud Lyonnais Vénissieux lors de la campagne 2022 à gauche et 2023 à droite	40
Figure 59 Concentrations journalières en galactosan en 2022 à gauche et en 2023 à droite	43
Figure 60 Concentrations journalières en arabitol en 2022 à gauche et en 2023 à droite	43
Figure 61 Concentrations journalières en glucose en 2022 à gauche et en 2023 à droite	43
Figure 62 Concentrations journalières en mannitol en 2022 à gauche et en 2023 à droite	44

1. PRESENTATION DE L'ETUDE

1.1. Contexte et objectifs de l'étude

En France, les objectifs relatifs aux énergies renouvelables sont fixés par la loi « énergie climat » du 8 novembre 2019 relative à la lutte contre le dérèglement climatique et le renforcement de la résilience face à ses effets. Elle prévoit de porter à 33% la part des énergies renouvelables dans la consommation brute d'énergie en 2030. La loi « climat et transition » du 22 août 2021 vient compléter cet objectif en déclinant des objectifs régionaux de développement des énergies renouvelables sur la base de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE).

En Auvergne-Rhône-Alpes, le schéma régional biomasse (SRB) vise à atteindre 19,9 TWh de production en 2030, soit une augmentation de 43 % par rapport à 2015. Cela correspond à environ 1 200 chaufferies supplémentaires.

Inaugurée au printemps 2023, la chaufferie de Vénissieux (rue Sentuc) vient compléter le parc de chaufferies biomasse de la métropole de Lyon. Elle est équipée d'une chaudière biomasse d'une puissance globale de 6,7 MW et d'une chaudière d'appoint au gaz de 7,7 MW. La chaudière bois dispose de filtres à manches. Cette chaufferie fonctionne uniquement lors de la période de chauffe.

Actuellement, la combustion de biomasse émet du CO₂ mais elle est considérée comme neutre en carbone d'après les lignes directrices en vigueur du CITEPA. Elle est également à l'origine d'émissions d'autres polluants atmosphériques (particules fines, HAP, NOx etc). Conformément à l'article 6.3 « Mesure périodique de la pollution rejetée » de [l'arrêté ministériel du 03/08/2018](#), l'exploitant de la chaufferie de Vénissieux (rue Sentuc) doit réaliser une surveillance de la pollution émise tous les deux ans.

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a accompagné la métropole de Lyon afin de mesurer l'impact sur l'air ambiant de cette nouvelle chaufferie biomasse.

1.2. Rappels sur la combustion de biomasse

1.2.1. Qu'est-ce que la combustion de biomasse et quels sont les enjeux sur la qualité de l'air ?

En théorie, les produits de la combustion complète du bois seraient uniquement du dioxyde de carbone (CO₂) et de l'eau (H₂O).

En réalité, la combustion, même si elle est optimisée, est souvent incomplète et engendre la formation d'autres produits comme :

- les oxydes d'azote (NO_x),
- les particules (PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁),
- le monoxyde de carbone (CO),
- les imbrûlés solides (suies, goudrons, charbon),
- les Composés Organiques Volatils (COV),
- les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP),
- les dioxines et furanes.

Même si ces produits sont minoritaires (les fumées sont composées à 99% en volume d'eau, de dioxyde de carbone, d'azote et d'oxygène, même dans le cas d'une combustion incomplète), certains d'entre eux peuvent atteindre des concentrations en air ambiant qui peuvent engendrer des effets sanitaires non souhaitables. Les particules fines (appelées aussi poussières ou aérosols) constituent une famille de polluants un peu spécifiques, qui se différencient à la fois par leur taille et leur composition. La combustion de bois est émettrice de particules fines (< 10µm) et même principalement de particules très fines (< 2,5µm), à la surface desquelles peuvent s'adsorber plusieurs polluants tels que, par exemple, des HAP ou des traces de métaux lourds. La proportion de particules fines varie en fonction de l'appareil de combustion, du combustible et des conditions de combustion.

Sur la Métropole de Lyon, le parc d'appareils de chauffage domestique au bois se caractérise par 60% d'équipements non performants (dont 16% de foyers ouverts et 32% de foyers fermés) très polluants : ils émettent 96% des particules fines PM2.5 issues du chauffage au bois. (source Atmo Auvergne-Rhône-Alpes 2021). La part de responsabilité du chauffage individuel au bois dans les émissions de PM2.5 est également prépondérante sur la Métropole de Lyon (Figure 1).

Répartition des émissions de PM2,5 de chauffage par source (2021)

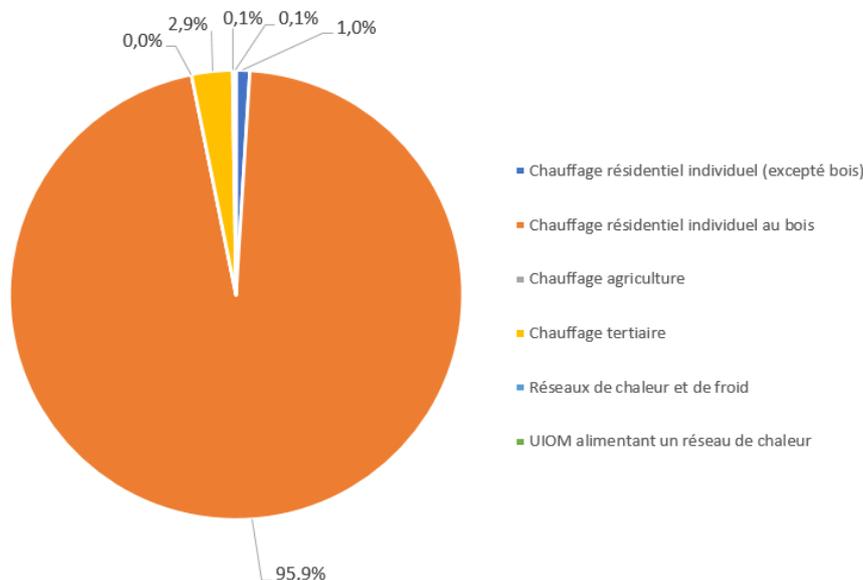


Figure 1 - Répartition des émissions de PM2.5 par source de chauffage (SECTEN) / Métropole de Lyon (2021)
Unité : % / source : Inventaire ESPACE V2023

En revanche, les installations de plus forte puissance (chaudières biomasse collectives et industrielles) sont proportionnellement moins émettrices de polluants grâce à des conditions de combustion plus favorables, et du fait de la mise en place de traitements secondaires. Elles sont par ailleurs soumises à des valeurs limites d'émissions réglementaires (ICPE 2910) strictes, définies selon les combustibles utilisés.

1.2.2. Quelles sont les sources à l'origine des émissions de particules fines ?

Les niveaux de particules mesurés en air ambiant peuvent provenir de plusieurs sources d'émissions : résidentiel, transport routier, industries, énergie, ... A ces sources d'émissions primaires viennent s'ajouter les apports induits par l'érosion ainsi que les processus secondaires de formation des aérosols, encore mal connus, souvent dus aux interactions gaz-particules.

Répartition sectorielle des émissions de de PM2,5

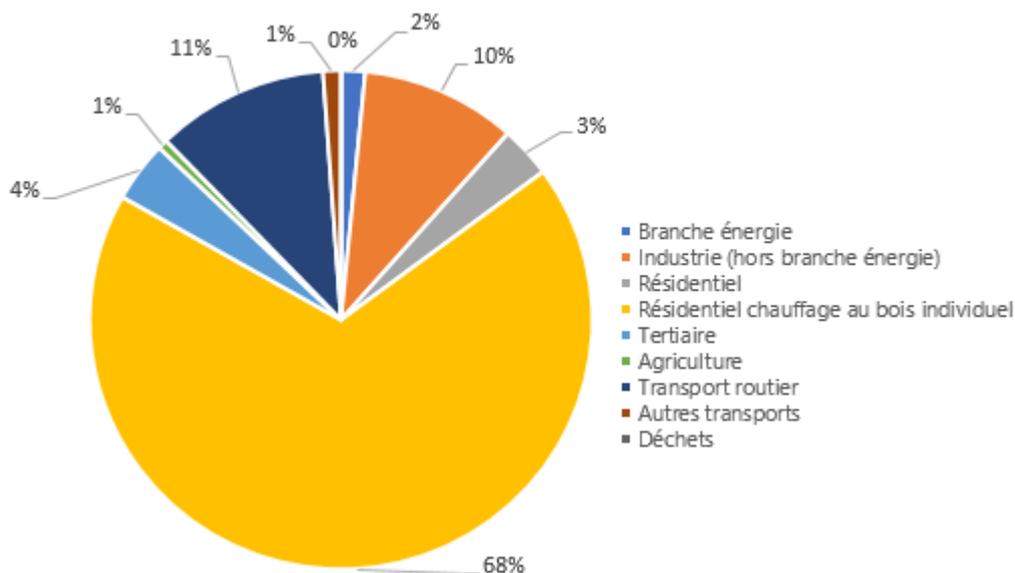


Figure 2 - Répartition des émissions de particules PM2,5 par secteur d'activité (PCAET) / Métropole de Lyon (2021)
Unité : % / source : Inventaire ESPACE V2023

Des programmes de recherche ont montré qu'il était possible d'estimer l'impact sur la qualité de l'air des différents processus d'émissions, à partir de l'analyse poussée de la composition des particules échantillonnées dans l'air ambiant (« spéciation chimique ») et de la caractérisation du profil chimique des émissions de chaque source (« signature »). La confrontation de ces signatures de sources avec celles obtenues en air ambiant constitue alors une approche permettant d'estimer la contribution de chaque source aux concentrations des particules échantillonnées. **Suivant le jeu de données issues de la spéciation chimique, cette estimation peut alors être qualitative ou quantitative.**

En outre, comme l'ont démontré de nombreuses études en France (dont certaines sur Grenoble et Chambéry, conduites en grande partie par l'IGE¹ et le LCME²), la combustion de biomasse constitue une source importante d'émissions de particules et fait l'objet d'une attention particulière. Par exemple, des travaux réalisés en 2009 dans le cadre du programme Primequal « FORMES » ont montré que la contribution de la combustion de biomasse aux particules (PM10) variait de 15% à 74% à Grenoble en période hivernale [Favez et al. 2010].

1.2.3. Quels sont les traceurs de combustion de biomasse ?

Les particules en suspension présentes dans l'atmosphère peuvent être caractérisées selon plusieurs paramètres : leur nombre (ou concentration), leur taille, leur forme, mais aussi la nature des composés chimiques constituant ces particules. La caractérisation de la composition chimique des particules est une information importante qui permet d'identifier l'origine des particules.

La composition chimique des particules est caractérisée par une fraction organique et une fraction inorganique :

- **La fraction organique** (aussi désignée par le terme OM : Organic Matter sur la Figure 3) est composée de différentes grandes familles chimiques tels que les acides, alcanes, HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), méthoxyphénols, sucres (dont le lévoglucosan).
- **La fraction inorganique** de l'aérosol est caractérisée par le carbone élémentaire (EC), les ions majeurs (sulfate, ammonium et nitrate) et les espèces cationiques, notamment le calcium permettant de calculer la part de poussières crustales (appelée « dust »). La fraction inorganique est composée également d'espèces chimiques telles que les traces de métaux lourds.

¹ Institut des Géosciences de l'Environnement (Grenoble)

² Laboratoire de Chimie Moléculaire et Environnement (Chambéry)

Généralement, les PM₁₀ 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 parfois atteindre 60%. En période hivernale, la part de matière organique (OM) peut augmenter jusqu'à atteindre 50% de la masse des PM₁₀, avec notamment des concentrations importantes en Lévo-glucosan et en HAP.

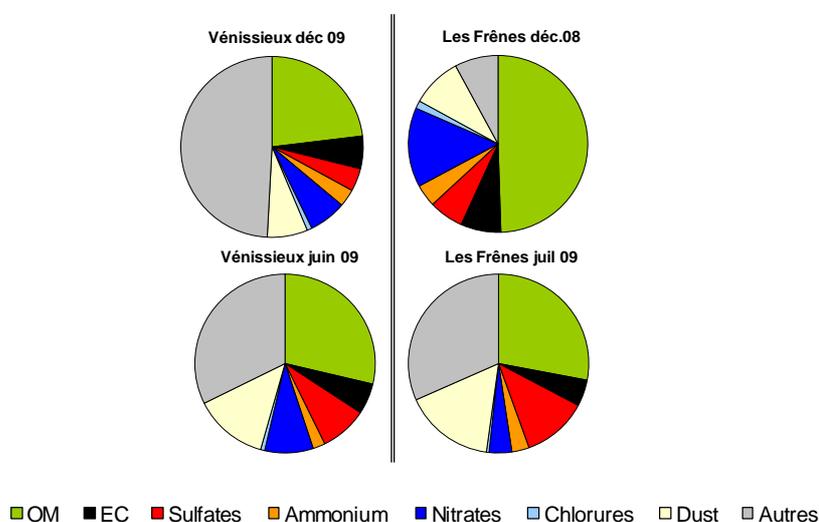


Figure 3 - Composition chimique relative des PM₁₀ mesurée sur le site de Vénissieux (urbain avec influence industrielle) en juin et décembre 2009 et sur le site de Grenoble les Frères (urbain de fond) en décembre 2008 et juillet 2009.

La combustion de biomasse conduit à l'émission de composés traceurs des familles des méthoxyphénols et des deshydro-saccharides, provenant de la décomposition thermique de la cellulose. Notamment, **le lévoglucosan et ses deux isomères (galactosan et mannosan) constituent des traceurs non ambigus de la combustion de biomasse** et sont très largement utilisés dans la recherche pour étudier l'influence de cette source, en raison notamment de facteurs d'émission relativement importants et de leur stabilité atmosphérique. Ces composés sont donc assez aisément identifiés sur des échantillons d'air ambiant.

A partir de travaux de recherche menés par l'INERIS, il est établi que **le lévoglucosan et d'autres composés issus de l'analyse chimique des particules peuvent également être utilisés comme « traceurs » de la combustion de biomasse.**

Par ailleurs, dans les inventaires d'émissions nationaux ou au niveau régional, il apparaît que la part de la combustion du bois dans les émissions de polluants du secteur résidentiel est majeure pour les HAP et relativement importante pour les particules fines PM_{2,5} et le benzène.

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont émis par tout type de combustion. Les émissions véhiculaires et la combustion de biomasse sont généralement deux sources majoritaires de HAP [Simoneit et al. 2002]. Cependant les données d'émissions en Auvergne Rhône-Alpes montrent que la part des différentes sources d'émissions peut varier en fonction de la zone d'étude et de la saison. Par ailleurs, les profils HAP (éventail des concentrations relatives de chaque HAP par rapport à la somme totale des HAP) sont différents selon la source d'émission.

L'étude des profils HAP peut donc apporter des informations sur les sources d'émissions de ces composés, même s'il s'avère difficile de mettre en évidence un profil type de HAP qui caractériserait une source car peu de ces polluants sont traceurs d'une seule source.

Le tableau suivant présente les HAP prédominants en fonction des différentes sources [Masclat et al. 1984].

HAP	Abbrev.	Chauffage domestique	Véhicule à essence	Véhicule diesel	Usine engrais	Raffinerie pétrole	Centrale électrique à charbon	Usine d'incinération de déchets	Fonderie
Anthracène	ANT					*			
Benzo(a)anthracène	BaA	*			*				*
Benzo(b)fluoranthène	BbF								*
Benzo(k)fluoranthène	BkF								*
Benzo(ghi)pérylène	BghiP								
Benzo(a)pyrène	BaP		*						*
Chrysène	CHR	*						*	
Dibenzo(a,h)anthracène	DBahA								
Fluoranthène	FL	*		*	*		*		*
Indéno(123,cd)pyrène	IP		*						
Phénanthrène	PHE			*	*	*	*	*	
Pyrène	PY	*		*		*		*	

Figure 4 - HAP prédominants dans les émissions de différentes sources

A noter qu'en milieu urbain, les véhicules « essence » constituent une source importante d'introduction de HAP dans l'atmosphère, parmi lesquels le Benzo(a)pyrène (réglementé en air ambiant).

Le tableau ci-dessus montre que les HAP susceptibles de fournir des indications sur la combustion de biomasse sont notamment le Benzo(a)anthracène et le Chrysène. Le Fluoranthène et le Pyrène ne peuvent pas être comptabilisés comme traceurs car les autres sources d'émissions sont a priori trop nombreuses. **Enfin, les travaux de l'INERIS renseignent sur le fait qu'une valeur élevée du rapport $IP/(IP+BghiP)^3$ serait représentative d'une contribution importante de la combustion du bois [INERIS, 2008].**

Les Composés Organiques Volatils (COV) sont également émis de manière importante par la combustion du bois, et notamment le benzène, le seul composé réglementé en air ambiant. Cependant, les COV sont beaucoup moins utilisés pour les études de sources.

³ Ratio $IP/(IP+BghiP)$: le ratio Indéno(123,cd)pyrène / Benzo(ghi)pérylène renseigne sur l'influence de la biomasse dans la composition des particules.

2. CHOIX METHODOLOGIQUES

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a établi une méthodologie sur la base :

- de la connaissance d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes des émissions des chaufferies ;
- de retours d'expérience de programmes de surveillance menés antérieurement par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes autour de chaufferies bois (ex : étude dans l'environnement proche de trois chaufferies bois de la région - Grenoble-Villeneuve, Saint-Etienne-Montreynaud et Vénissieux-Minguettes - avec un suivi dans l'air ambiant de traceurs de combustion de la biomasse menée en 2009 et de l'étude de l'influence de la chaufferie biomasse de Surville sur son environnement atmosphérique - novembre/décembre 2020) ;
- du dispositif de surveillance existant d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes sur l'agglomération lyonnaise ;
- des spécificités du site d'implantation et des objectifs de surveillance de l'installation, ainsi que de l'exposition potentielle des riverains.

2.1 Implantation des sites de mesure

L'identification des sites de prélèvements autour de l'installation s'est appuyée sur :

- des données géographiques relatives à la zone étudiée (l'orientation des vents dominants du secteur, densité de population),
- des données d'émissions relatives aux chaufferies, pour essayer de se situer dans la zone des retombées maximales,
- des contraintes d'ordre technique (accessibilité, alimentation électrique, surface d'emplacement suffisante...) ou de sécurité ou d'autorisation d'installation,
- des facteurs externes d'influence de la mesure.

Au regard des éléments précités, deux sites principaux ont été sélectionnés, l'un au nord de l'établissement à l'étude, et l'autre au sud, puisque les vents dominants en vallée du Rhône sont de secteur Sud-Nord et Nord-Sud (Figure 5). Un troisième site a été choisi au sud dans une école située en zone résidentielle.

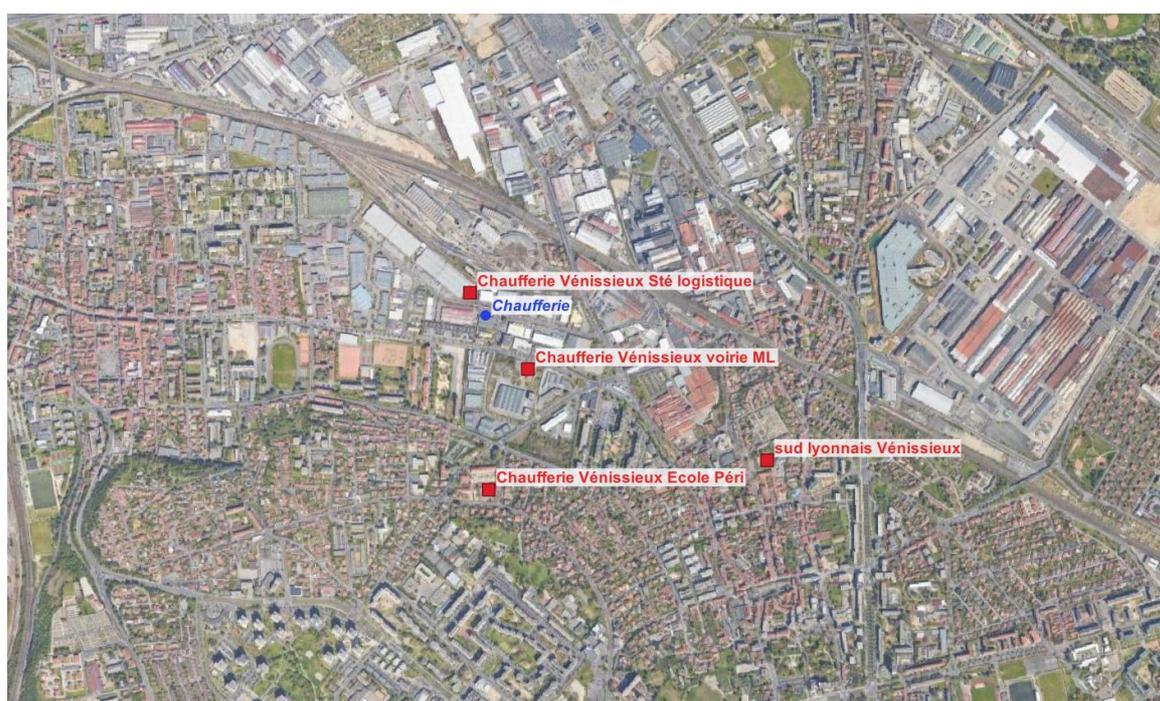


Figure 5 Photo aérienne du secteur de Vénissieux avec la nouvelle chaufferie implantée rue Sentuc (en bleu) et les sites de mesures (en rouge)

2.1.1. Site Nord

Le site Nord est implanté à environ 90 mètres au Nord-Nord Ouest de la nouvelle chaufferie dans le parking d'une société de logistique (Figure 6 et Figure 7).



Figure 6 Photographie aérienne de l'implantation du site Nord



Figure 7 Photographies du site Nord avec les appareils de mesures

2.1.2. Site Sud

Le site Sud est implanté à environ 220 mètres au Sud Est de la nouvelle chaufferie sur un toit terrasse dans les locaux du service voirie de la Métropole de Lyon (Figure 8 et Figure 9).

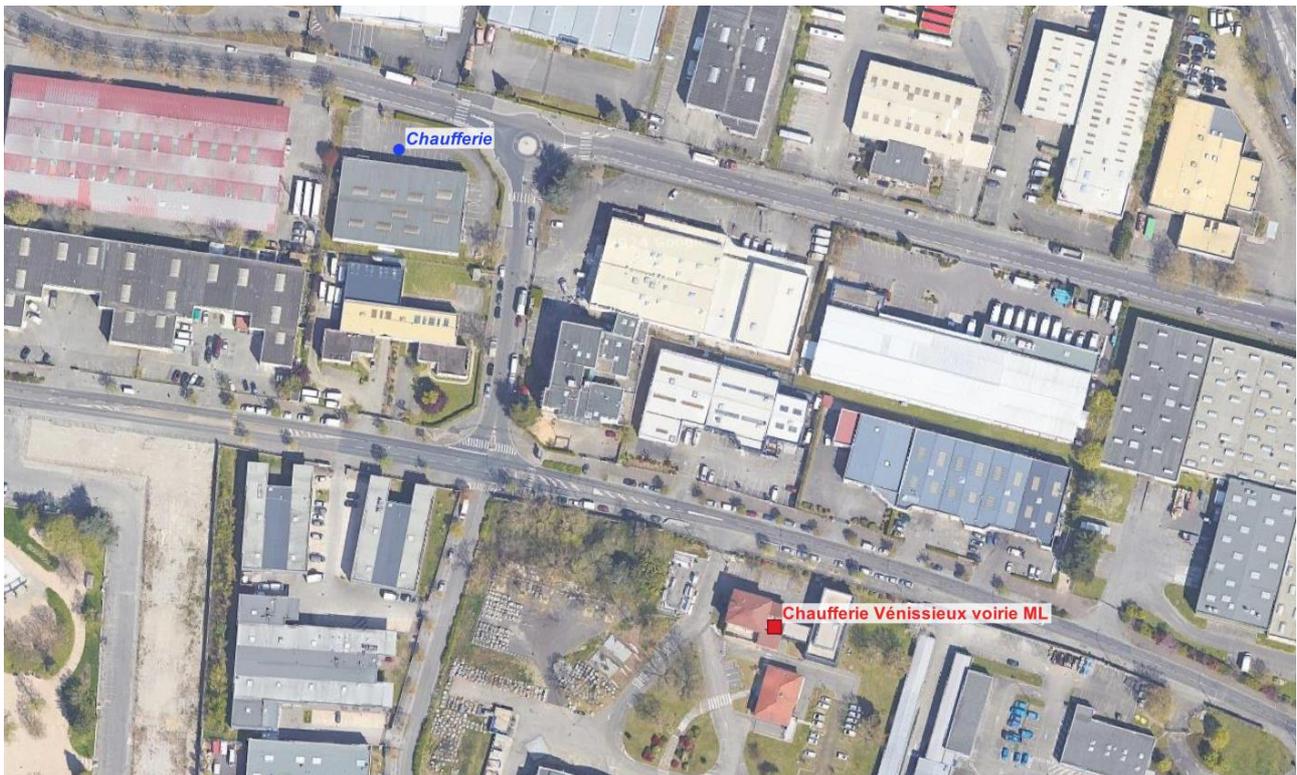


Figure 8 Photographie aérienne de l'implantation du site Vénissieux Sud



Figure 9 Photographies du site Sud avec les appareils de mesures

2.1.3 Site Ecole Gabriel Péri

Un troisième site de mesures, uniquement équipé d'un microcapteur (mesure des particules), a été installé à environ 550 mètres au Sud sur le toit de l'école Gabriel Péri (Figure 10 et Figure 11). Ce site est implanté dans une zone résidentielle avec un influence du chauffage résidentiel.



Figure 10 Photographie aérienne de l'implantation du site de l'école Gabriel Péri



Figure 11 Photographies du troisième site de mesures

2.2 Polluants visés et objectifs de prélèvements

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a proposé d'accompagner la surveillance de la qualité de l'air autour de la chaufferie de Vénessieux principalement au travers du suivi des particules PM10 et PM2.5 et des HAP.

Cette surveillance s'est basée à la fois sur une évaluation quantitative, mais également qualitative, à partir d'une spéciation chimique des particules permettant d'établir des profils et ainsi d'identifier les traceurs de la combustion de biomasse.

L'objectif des prélèvements a été de cibler les polluants « caractéristiques » des rejets d'une chaufferie telle que celle de Vénessieux (traceurs de la combustion de biomasse) afin d'évaluer l'influence potentielle de l'installation sur l'environnement atmosphérique et de déterminer les concentrations des polluants mesurés au niveau des zones de retombées maximales et d'exposition potentielle de la population.

2.2.1. Nature des prélèvements

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a équipé les trois sites de mesures dédiés, au nord et au sud de l'installation, de la manière suivante :

- 3 sites équipés de micro-capteurs permettant le suivi des concentrations en particules PM₁₀ et PM_{2,5} ainsi que des paramètres météorologiques ;
- 2 sites équipés de préleveurs de type « DA80 » permettant de procéder à l'analyse des HAP ainsi qu'à la caractérisation des particules déposées sur filtre (analyses différées de EC / OC⁴ et de sucres : lévoglucosan, mannosan, galactosan, arabitol, sorbitol, mannitol, glucose).

2.2.2. Intégration de mesures de l'observatoire d'Atmo Auvergne Rhône-Alpes

Les résultats des mesures et prélèvements sur les deux sites au Nord et Sud de la chaufferie sont comparés aux mesures réalisées par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes dans le cadre de son observatoire.

Pour cela, trois stations de mesure fixes de l'agglomération lyonnaise sont particulièrement utiles :

- Lyon-centre : station équipée d'analyseurs de particules PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁, d'un préleveur permettant l'analyse des HAP mais également d'un aethalomètre permettant la caractérisation chimique des particules ;
- Sud Lyonnais Vénissieux : station équipée d'un préleveur de HAP.

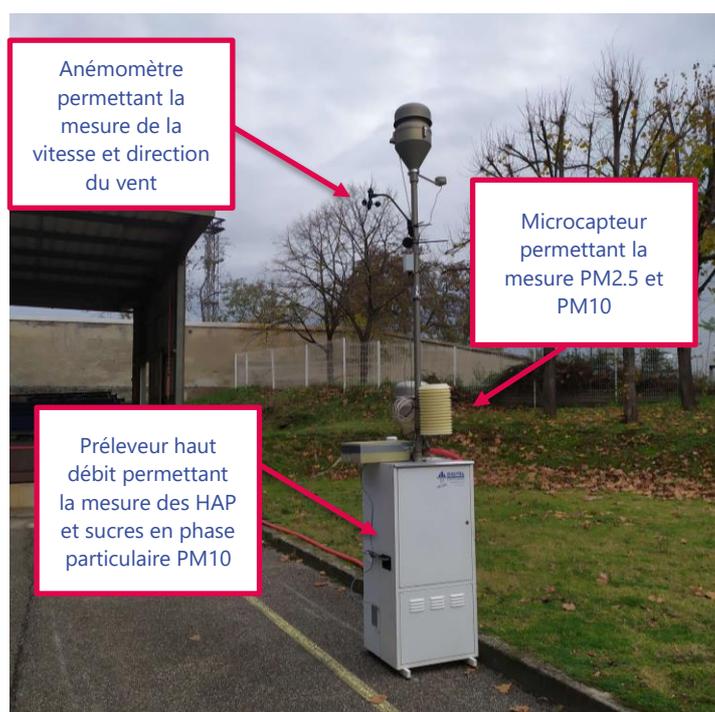


Figure 12 Implantation d'un site de mesures

⁴ EC (Elemental Carbon) : désigne le carbone suie, composé purement primaire, apparenté à du graphite pur. Il est émis lors de processus de combustion.

OC (Organic Carbon) : provient soit de la combustion soit de composés organiques de l'atmosphère qui s'adsorbent sur la particule déjà formée.

2.2.3. Echantillonnage

Nota concernant les micro-capteurs

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes travaille depuis plusieurs années à l'évaluation des champs d'application des micro-capteurs pour la surveillance de la qualité de l'air. Fort de cette expérience et de son expertise, afin de garantir la fiabilité de l'information délivrée lors de l'usage de micro-capteurs, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes préconise :

- de choisir les micro-capteurs les plus adaptés aux contextes et enjeux des études, parmi les participants au challenge Airlab5. Ce challenge a eu pour but de comparer différents micro-capteurs afin d'éclairer, en toute indépendance, les utilisateurs entre l'adéquation du produit et les usages possibles ;
- de réaliser avant et après la mise en place des micro-capteurs une mise en parallèle des appareils avec des analyseurs de référence (calibration) ;
- de maintenir, pendant la mesure, un micro-capteur sur un site de référence afin de garantir une cohérence entre les résultats.

En application de ces préconisations, dans le cadre de la surveillance environnementale de la chaufferie de Vénissieux, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a mis en place durant toute la campagne de mesures, un micro-capteur au niveau de la station de référence de Lyon Centre, en sus des trois micro-capteurs disposés au niveau des 3 sites. Cependant, suites à des aléas survenus sur le capteur du site de l'école « Vénissieux Péri » lors de la campagne 2022, aucune donnée n'a pu être exploitée.

⁵ organisé par Airparif avec l'appui d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, d'Atmo Grand-Est, du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, de la délégation Régionale Île-de-France de la Caisse des Dépôts et des Consignations, du Laboratoire Fédéral d'essai des matériaux et de recherche suisse (EMPA), de la Fédération Interprofessionnelle des Métiers de l'Environnement Atmosphérique, d'ICADE, de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, et de Véolia

Plan d'échantillonnage

La Figure 13 illustre les sites de mesures de cette étude.

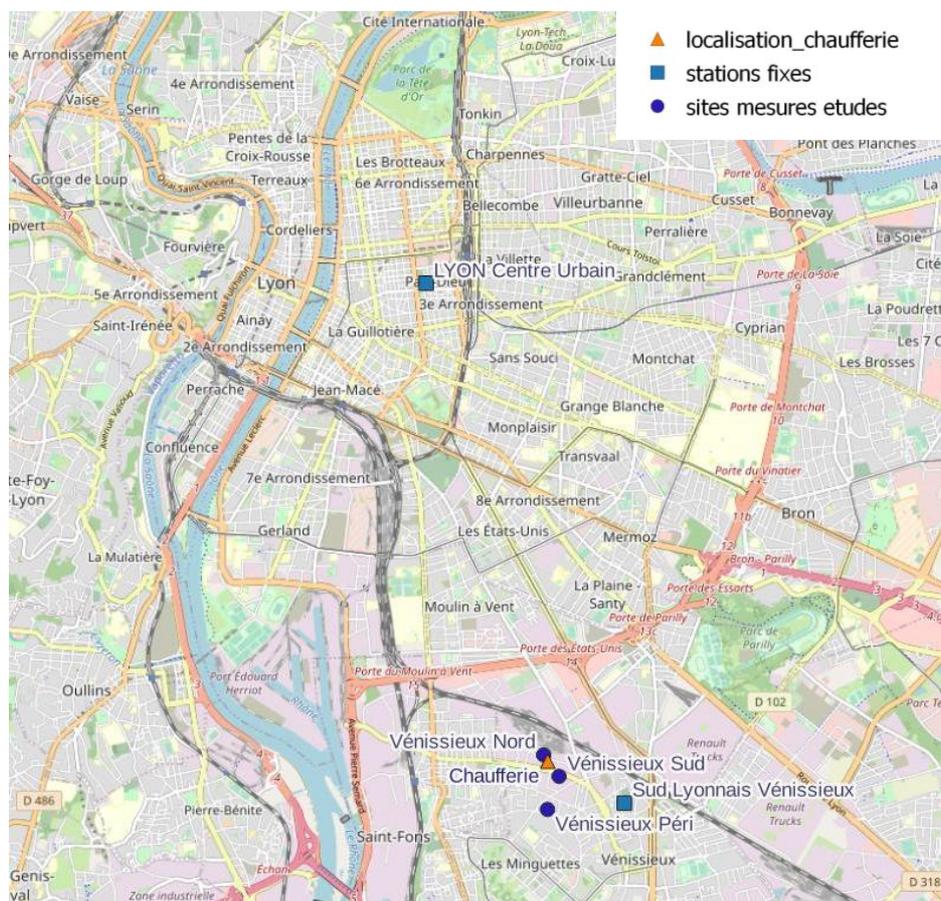


Figure 13 - Plan d'échantillonnage proposé dans le cadre de la surveillance environnementale de la chaufferie de Vénissieux

	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	Carbone organique (EC,OC), Sucres (lévoglucosan, etc)	Météo (vitesse et direction du vent, température)	PM10 , PM2,5 (microcapteur)	PM10, PM2.5 (Analyseur)
Vénissieux Nord	●	●	●	●	
Vénissieux Sud	●	●	●	●	
Vénissieux Ecole Péri				●	
Lyon Centre Urbain	●	●		●	●
Sud Lyonnais Vénissieux	●				

Tableau 1 Liste des composés mesurés par site de mesures

Temporalité des mesures

Afin de caractériser un éventuel impact de la chaufferie sur la qualité de l'air, deux campagnes de mesures ont été effectuées (Figure 14).

La première campagne de mesure (2022_mesure dans la Figure 14) a eu lieu du 16 novembre 2022 au 5 janvier 2023 avant la mise en service de la chaufferie. La deuxième campagne (2023_mesure dans la Figure 14) de mesure a eu lieu du 15 novembre 2023 au 20 décembre 2023.

Chacune des 2 campagnes de mesures a été précédée et suivie d'une campagne d'intercomparaison afin de s'assurer du bon fonctionnement des microcapteurs en les intercomparant avec une mesure de référence. Pour ces campagnes d'intercomparaison, les microcapteurs étaient installés sur le site de Lyon Centre.

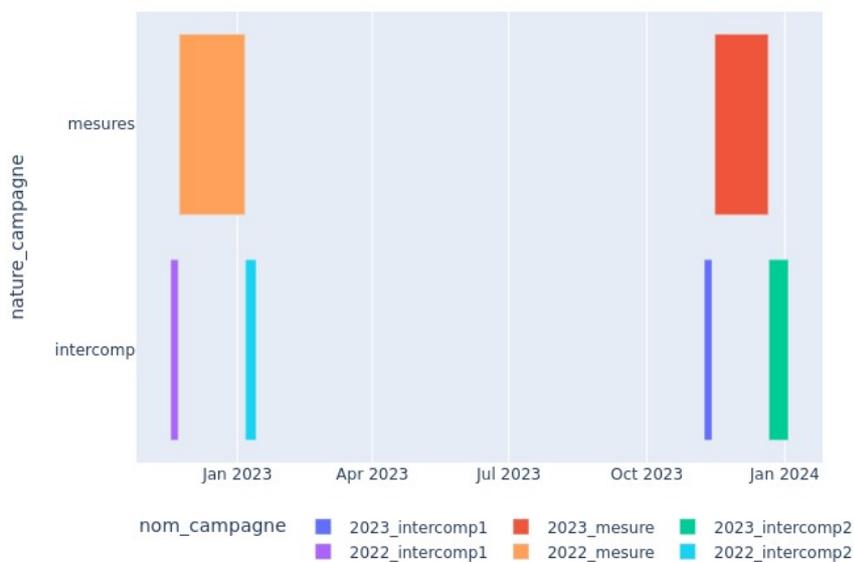


Figure 14 Planning des campagnes de mesures de l'étude

3. RESULTATS

3.1 Paramètres météorologiques

Les données météorologiques présentées ci-après sont issues de la station météorologique de Solaize (station fixe d'ATMO Auvergne Rhône Alpes installée à Solaize dans le Sud lyonnais) et des microstations déployées par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes dans le cadre de cette étude.

Le site de Solaize permet de caractériser les conditions météorologiques à grande échelle. Les microstations, quant à elles, caractérisent les conditions météorologiques à plus petite échelle et permettent d'évaluer si le site choisi est bien sous l'influence de la source étudiée dans le cadre de cette étude.

3.1.1. Direction du vent

Dans le secteur du Sud Lyonnais, la direction prépondérante du vent a été orientée selon un axe Nord Sud pendant la campagne de 2022 et un axe Nord Sud avec une légère composante Ouest durant la campagne 2023 (Figure 15).

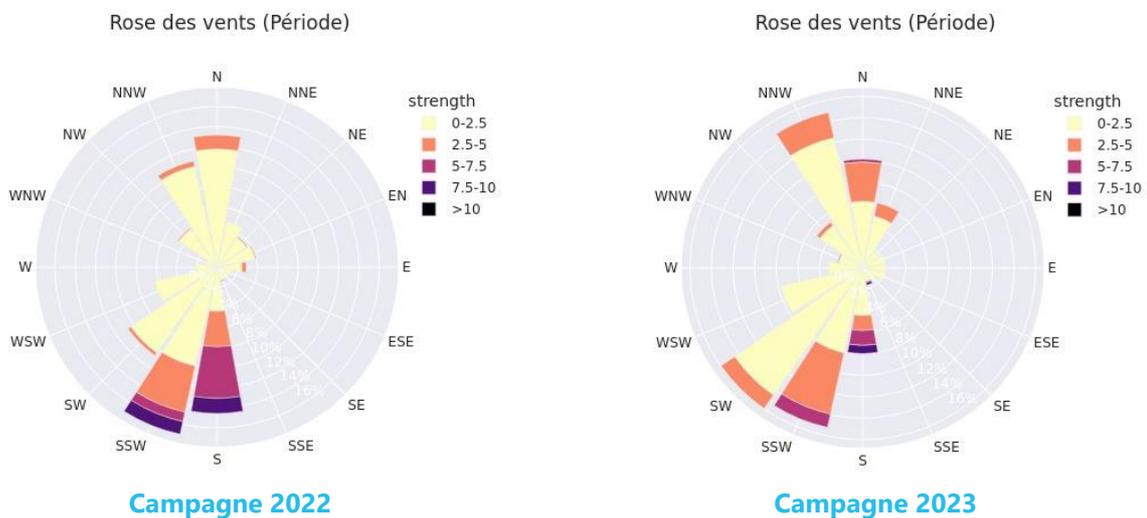


Figure 15 Rose des vents mesurés sur la station de Solaize pendant la campagne 2022 à gauche et 2023 à droite

La mesure des paramètres météorologiques a été complétée par l'installation de microcapteurs météorologiques dans le secteur de Vénissieux sur les deux sites de mesures (Vénissieux Nord et Vénissieux Sud). Cette installation permet de caractériser de façon plus fine les paramètres météorologiques notamment la direction du vent en fonction du bâti qui peut localement modifier la direction et la vitesse du vent.

Pour le site Vénissieux Nord, les vents sont majoritairement placés sur l'axe Nord Est – Sud Ouest (Figure 16) lors des deux campagnes. Cependant pour le site Vénissieux Sud, les vents sont majoritairement de Nord (Figure 17).

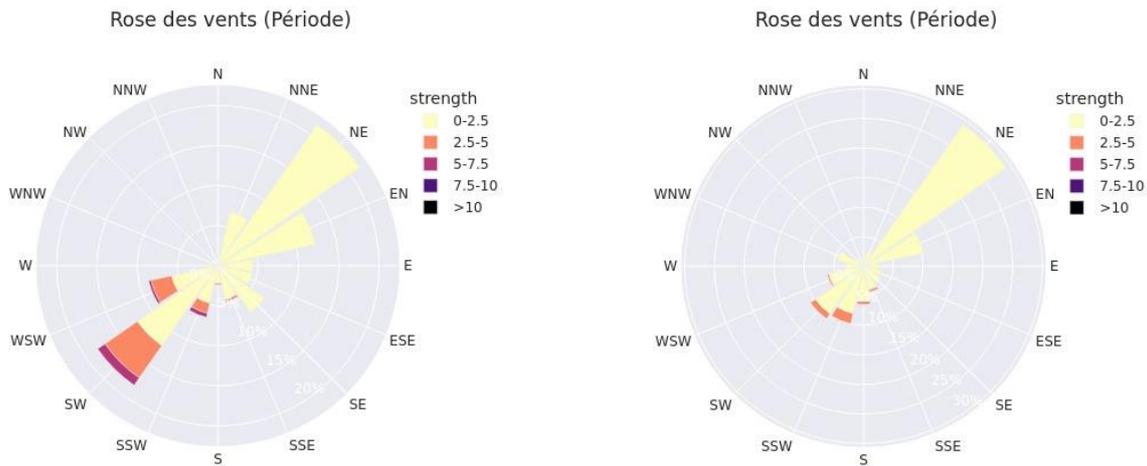


Figure 16 Rose des vents mesurés par microcapteur sur le site Vénissieux Nord lors de la campagne 2022 à gauche et lors de la campagne 2023 à droite



Figure 17 Rose des vents mesurés par microcapteur sur le site Vénissieux Sud lors de la campagne 2022 à gauche et lors de la campagne 2023 à droite

3.1.2. Vitesse du vent

La vitesse du vent est un paramètre météorologique important car, s'il est suffisamment fort, il permet une dispersion efficace de la pollution. Si le vent est trop fort, il va favoriser le phénomène de remise en suspension des particules avec pour conséquence une augmentation des concentrations des particules de taille supérieures à 2,5 microns. A noter que le vent peut avoir comme effet de rabattre la pollution d'une autre origine sur une zone spécifique. Dans ce cas, les niveaux de pollution vont s'élever. Ce cas de figure n'a pas été observé dans cette étude.

Sur le site Vénissieux Nord, la vitesse de vent a été sensiblement la même entre la campagne 2022 et la campagne 2023. Sur le site Vénissieux Sud, la vitesse du vent a été inférieure en 2023 à celle de 2022 (Figure 18).

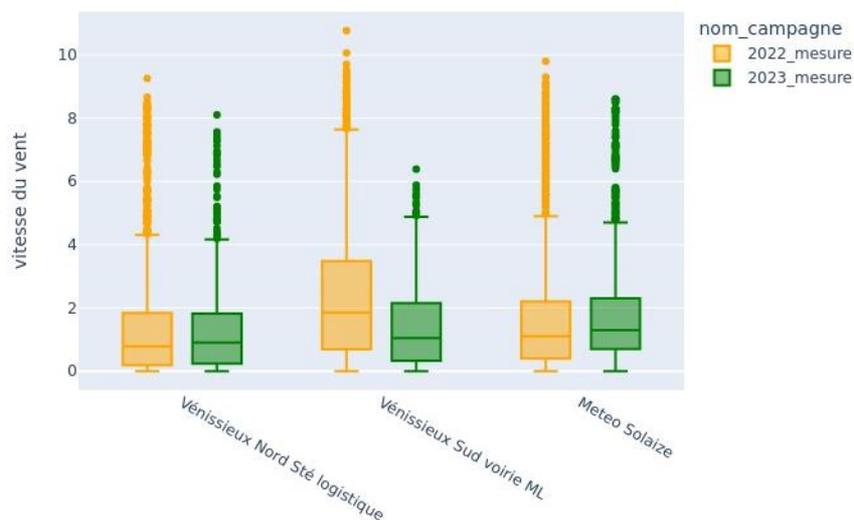


Figure 18 Statistiques des vitesses de vent en m/s mesurées par microcapteurs et sur le site de Solaize pendant la campagne 2022 (orange) et la campagne 2023 (vert).

Lors de chaque campagne, les conditions de vent ont pu évoluer avec des jours avec beaucoup de vent lors de la campagne de 2022 (notamment le 18 décembre 2022) propices à l'observation de concentrations en polluants faibles ou des jours avec des faibles vitesses de vent (17-18 décembre 2023 lors de la campagne 2023) propices à l'observation de fortes concentrations de polluants (Figure 19).

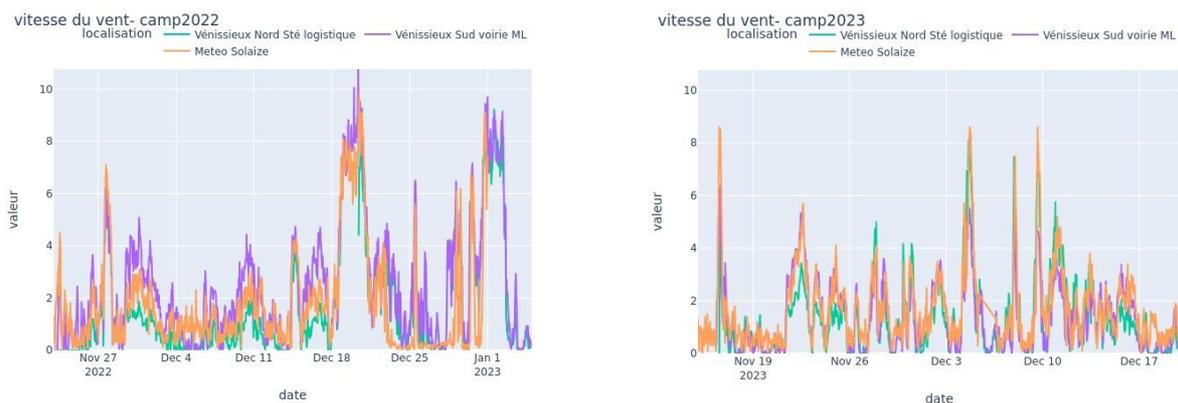


Figure 19 Vitesse de vent mesurées par les microcapteurs sur les sites de Vénissieux et sur le site de référence de Solaize

3.1.3 Les températures

La température est un facteur essentiel qui intervient à double titre. Elle conditionne directement la demande en chauffage, et donc influe sur les émissions liées à cette activité. Elle est également prépondérante concernant la dispersion verticale des polluants dans l'atmosphère, en raison du phénomène possible d'inversion de températures qui peut bloquer les polluants à basse altitude.

L'analyse des températures observées sur tous les sites de Vénissieux montre des niveaux moyens proches entre la campagne de 2022 et celle de 2023 avec des températures moyennes légèrement inférieures à 10 degrés (Figure 20).

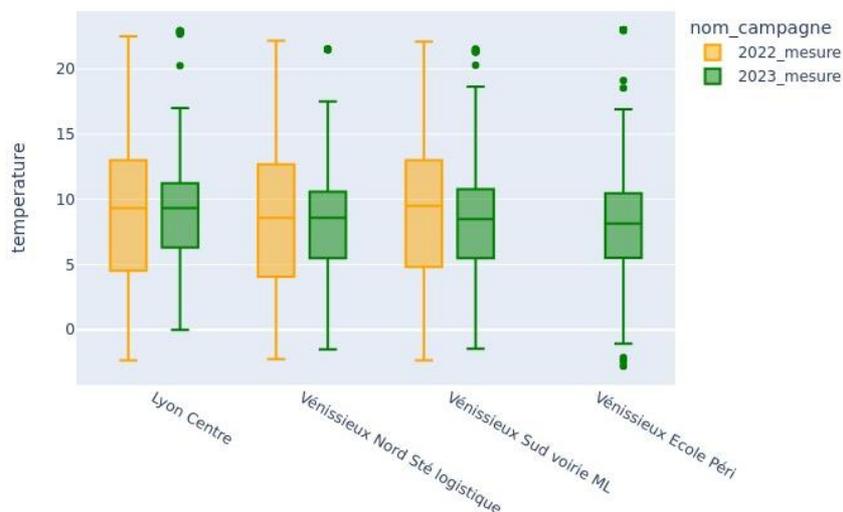


Figure 20 Statistiques des températures mesurées par microcapteurs pendant la campagne 2022 (orange) et la campagne 2023 (vert).

Toutefois, les deux campagnes sont caractérisées par un ou plusieurs jours avec des températures plus froides (températures inférieures à 5 degrés en cours de journée) (Figure 21).

Si des concentrations élevées sont recensées ces jours-là dans la suite de l'étude, l'influence de ce paramètre météorologique devra être prise en compte.

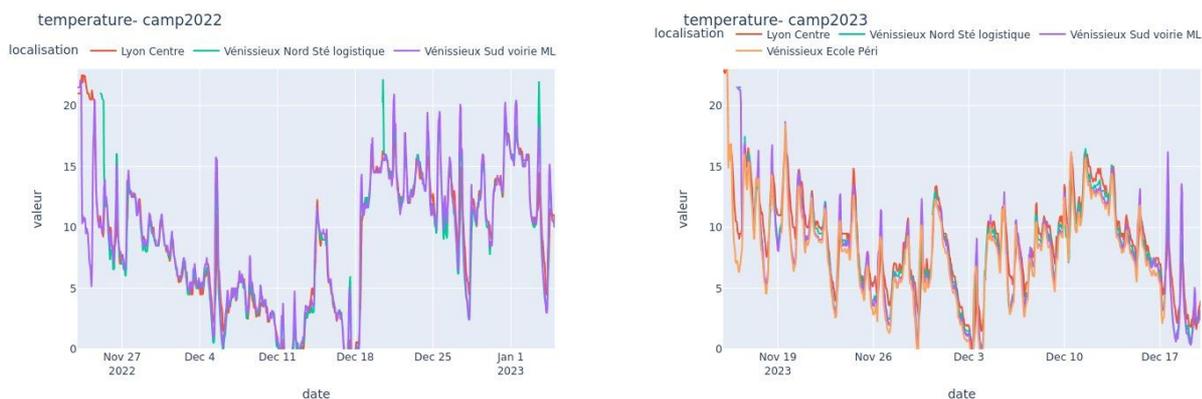


Figure 21 Températures horaires mesurées par les microcapteurs pendant la campagne de 2022 à gauche et la campagne de 2023 à droite

3.2 Activité de la chaufferie durant la période d'étude

Outre les paramètres météorologiques, le taux d'activité des deux chaufferies en activité dans le secteur de Vénissieux devra également être pris en compte lors de l'analyse des différents résultats de mesures. Ces deux chaufferies qui sont de capacité différente utilisent du gaz et du bois comme source d'énergie.

La Figure 22 Puissance des deux chaufferies de Vénissieux pendant la campagne de 2023 Figure 22 suivante illustre le fonctionnement des deux chaufferies de Vénissieux (Sentuc et Vénissieux Energie) exprimé en kilowatt pendant la campagne de 2023. La courbe noire illustre la température mesurée par microcapteur sur un des sites de Vénissieux (Figure 22).

Cette figure permet d'observer une montée en puissance des deux chaufferies lorsque la température diminue, notamment vers le 3 décembre 2023 et en fin de campagne vers le 18 décembre 2023.

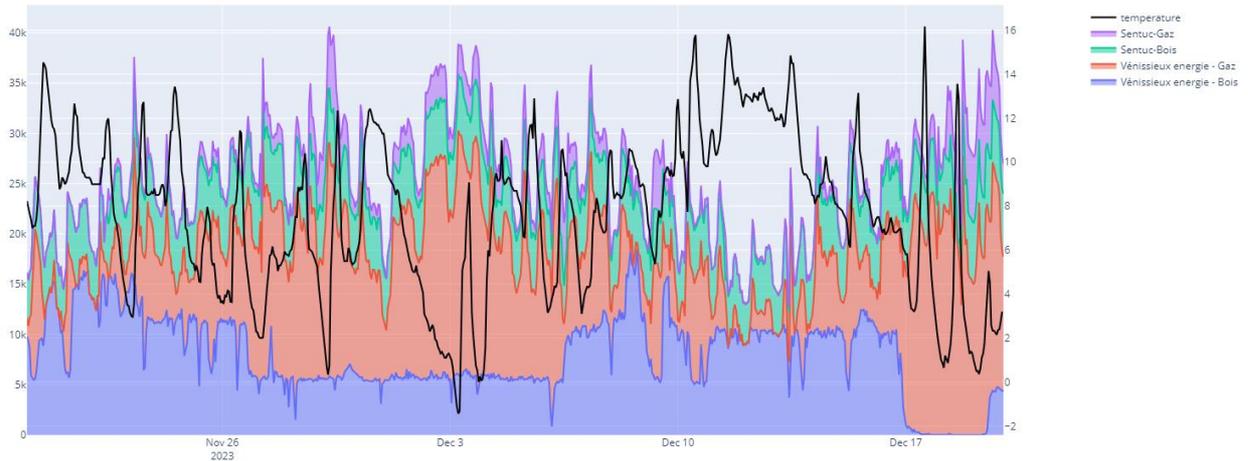


Figure 22 Puissance des deux chaufferies de Vénissieux pendant la campagne de 2023

La figure suivante (Figure 23) illustre le fonctionnement de la chaufferie de Vénissieux Energie pendant la campagne de 2022. Comme en 2023, cette figure confirme la montée en puissance de la chaufferie lorsque les températures diminuent. Cette montée en puissance en période de faibles températures est obtenue grâce à l'utilisation du gaz.

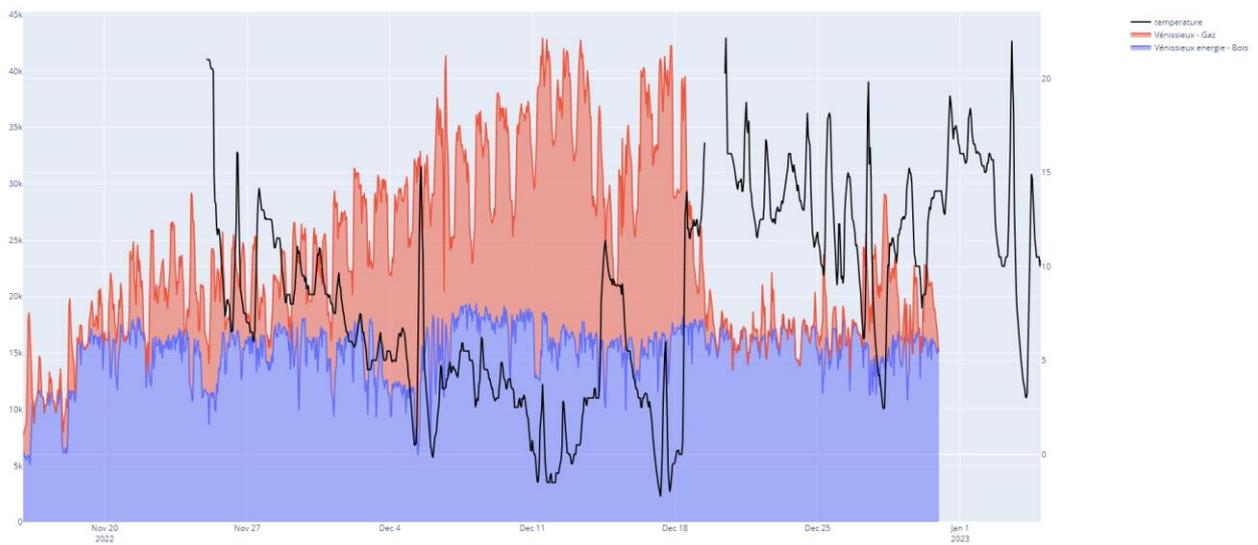


Figure 23 Puissance de la chaufferie Vénissieux Energie pendant la campagne de 2022.

3.3 Analyse quantitative des particules

3.3.1. Les particules PM10

Les particules de diamètre inférieur à 10 microns (PM10) ont été mesurées au moyen de micro-capteurs sur le site de référence urbaine de Lyon Centre, ainsi que sur trois sites de Vénissieux.

L'analyse des statistiques horaires montre des niveaux moyens de PM10 plus élevés en 2022 sur tous les sites de l'étude (moyennes comprises entre 13 et 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) qu'en 2023 (moyennes comprises entre 8 et 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Figure 24).

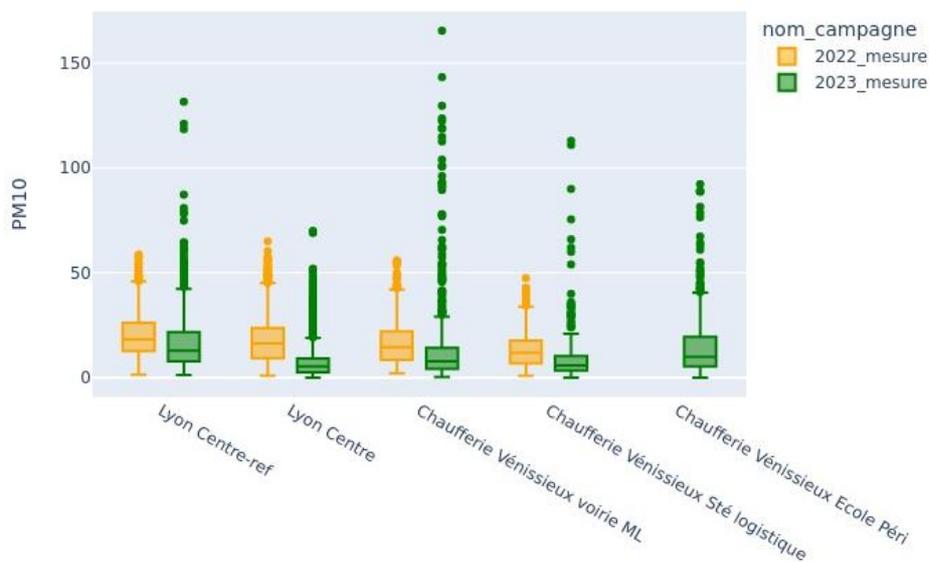


Figure 24 Concentrations en particules PM10 mesurées par analyseur sur le site de référence de Lyon Centre (Lyon Centre – ref) et concentrations en particules PM10 mesurées par microcapteur sur le site de Lyon Centre et sur les trois sites de Vénissieux

Toutefois, les valeurs maximales mesurées dans le cadre de cette étude ont été atteintes au cours de la campagne 2023 et plus particulièrement sur les journées du 18 et 19 décembre 2023. L'évolution temporelle des trois sites de Vénissieux est très bien corrélée avec celle du site de référence de Lyon Centre (Figure 25). Lors de la campagne de 2023, le site de référence de Lyon Centre présente des pics de PM10 qui ne s'observent pas sur les 3 microcapteurs de Vénissieux, ces pics sont liés à des travaux dans le quartier de la Part Dieu.

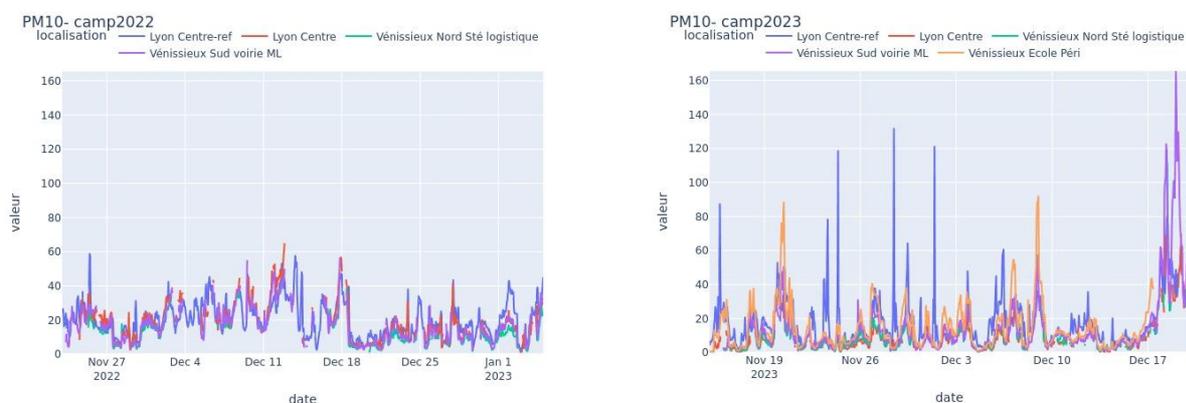


Figure 25 Concentrations horaires en PM10 en 2022 à gauche et en 2023 à droite

A noter que durant la campagne de mesure de décembre 2023, la zone du bassin lyonnais Nord Isère, plus particulièrement le Sud de l'agglomération lyonnaise et dans une moindre mesure le secteur de Roussillon, a

connu un épisode de pollution aux particules PM₁₀, entre le 18 et le 20 décembre 2023 (Figure 26 et Figure 27).

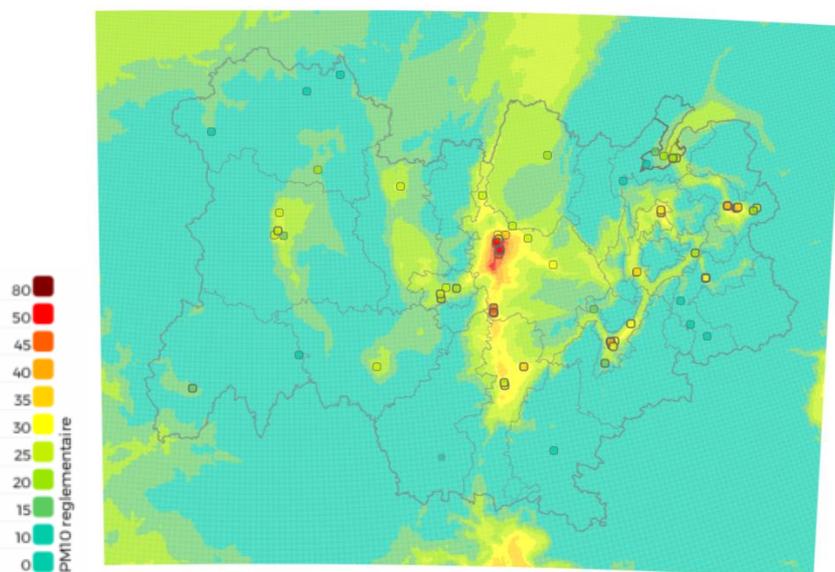


Figure 26 Cartographie des PM₁₀ issue de la modélisation pour la journée du 19 décembre 2023.

Entre le 18 et le 19 décembre 2023, plusieurs stations fixes du bassin lyonnais Nord Isère ont eu des niveaux très proches du seuil d'information et de recommandations concernant les PM₁₀ (Figure 27).



Figure 27 Concentrations horaires en PM₁₀ sur les stations urbaines du bassin lyonnais entre le 16 et le 23 décembre 2023

L'analyse quantitative des mesures de particules PM₁₀ réalisées par microcapteurs sur les trois sites de Vénissieux ne permet pas de mettre en évidence une élévation des niveaux de PM₁₀ entre 2022 et 2023 qui serait imputable à la mise en activité d'une nouvelle chaufferie dans ce secteur.

L'élévation des niveaux de particules reste la conséquence de facteurs météorologiques pénalisants (stabilité atmosphériques) et l'augmentation des émissions locales et régionales de tous les secteurs d'activité dont le chauffage.

3.3.2. Les particules PM_{2,5}

Les particules de diamètre inférieur à 2,5 microns (PM_{2,5}) ont aussi été mesurées au moyen de micro-capteurs sur le site de référence urbaine de Lyon Centre, ainsi que sur trois sites de Vénissieux.

La mesure des PM_{2,5} suit la même tendance que celle des PM₁₀. L'analyse des statistiques horaires montre des niveaux moyens de PM_{2,5} plus élevés en 2022 sur tous les sites de l'étude (moyennes comprises entre 11

et 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur les sites de Vénissieux et 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Lyon Centre) qu'en 2023 (moyennes comprises entre 6 et 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur les sites de Vénissieux et 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Lyon Centre) (Figure 28).

A l'instar des PM10 les valeurs maximales de PM2.5 ont été atteintes au cours de la campagne 2023.

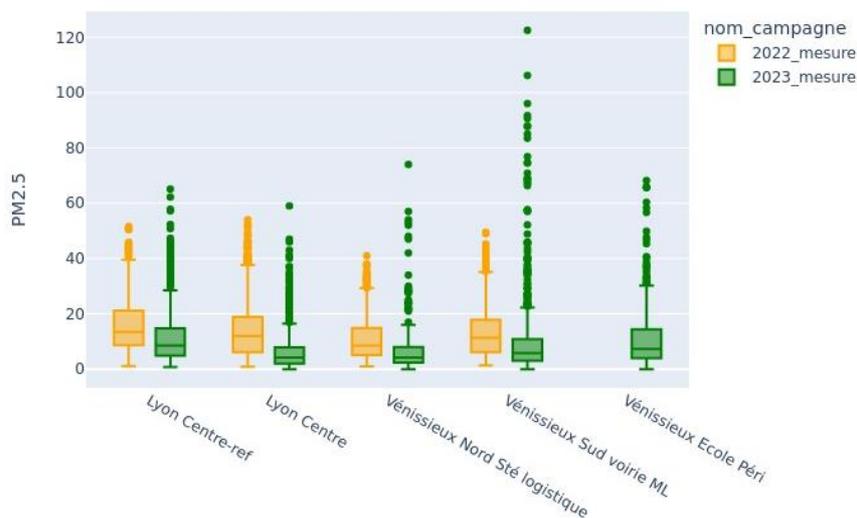


Figure 28 - Comparaison des concentrations horaires (et moyennes) en PM2,5 entre les sites d'étude et les sites de référence urbaine

Comme pour les PM10, l'évolution temporelle des courbes de PM2.5 est très bien corrélée entre les trois sites de Vénissieux et le site de référence de Lyon Centre. De plus, les concentrations moyennes de particules PM2,5 calculées sur toute la durée de l'étude sont proches entre tous les sites (Figure 29).

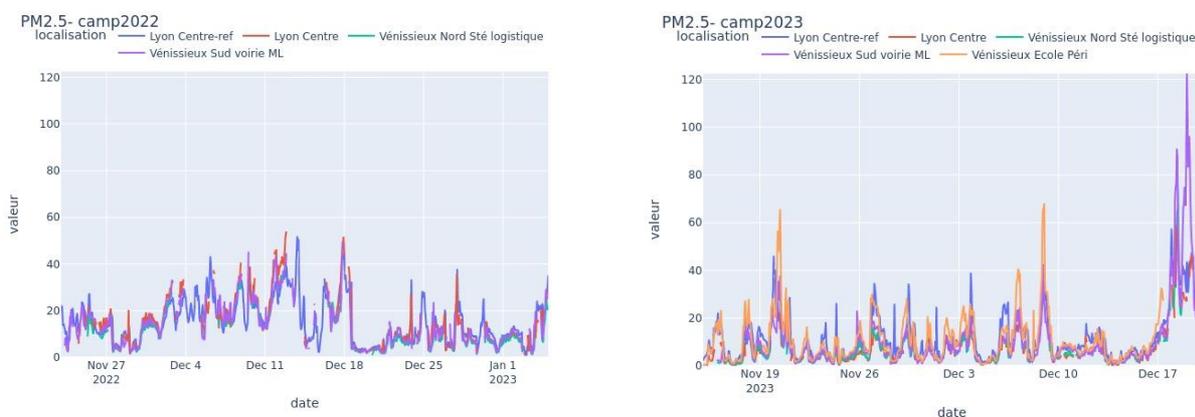


Figure 29 - Comparaison des concentrations journalières en PM2,5 entre les sites d'étude et les sites de référence urbaine

Comme pour les PM10, l'analyse quantitative des mesures de particules PM2,5 ne permet donc pas de démontrer une augmentation significative des niveaux entre 2022 et 2023 qui aurait pu être liée au démarrage d'une nouvelle activité dans le secteur de Vénissieux.

3.3.3. Le ratio PM2.5/PM10

Le ratio PM2,5/PM10 renseigne sur la proportion de particules de diamètre inférieur à 2,5 microns (PM2,5) au sein des particules de diamètre inférieur à 10 microns (PM10). Ce ratio évolue donc au cours du temps et il permet de renseigner la nature et l'origine de l'aérosol (= mélange de particules). Si elles sont issues de l'érosion des sols, le ratio PM2,5/PM10 diminue jusqu'à 0,6 car ces particules sont généralement plus grosses que celles issues de la combustion. Lorsqu'il s'agit majoritairement de particules fines issues de la combustion alors le ratio PM2,5/PM10 augmente et est proche, voir supérieur à 0,8.

Dans le cadre de cette étude, le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ permet de faire quelques observations intéressantes (Figure 30 et Figure 31).

L'anti-corrélation visible entre la vitesse du vent et le ratio $PM_{10}/PM_{2.5}$ tend à démontrer que la production locale est composée essentiellement de $PM_{2.5}$, issues majoritairement d'activités de combustion. En revanche, lorsque le vent est plus marqué et que des particules sont importées d'autres territoires ou remises en suspension, la proportion de $PM_{2.5}$ diminue au profit de particules plus grossières. Ce phénomène s'observe bien pour la période du 18-19 décembre 2022, période pendant laquelle le vent est établi (supérieur à 7 m/s, soit 25 km/h) et le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ est le plus faible (proche de 0,6).

Pour le site Vénissieux Nord (Figure 30), le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ tend à montrer une influence de la remise en suspension des particules. Ces particules proviennent de l'activité de logistique du site qui induit un trafic de véhicules conséquent et qui favorise la remise en suspension. De plus, les activités du site voisin (technicentre SNCF au Nord) peuvent également être une source de particules fines.

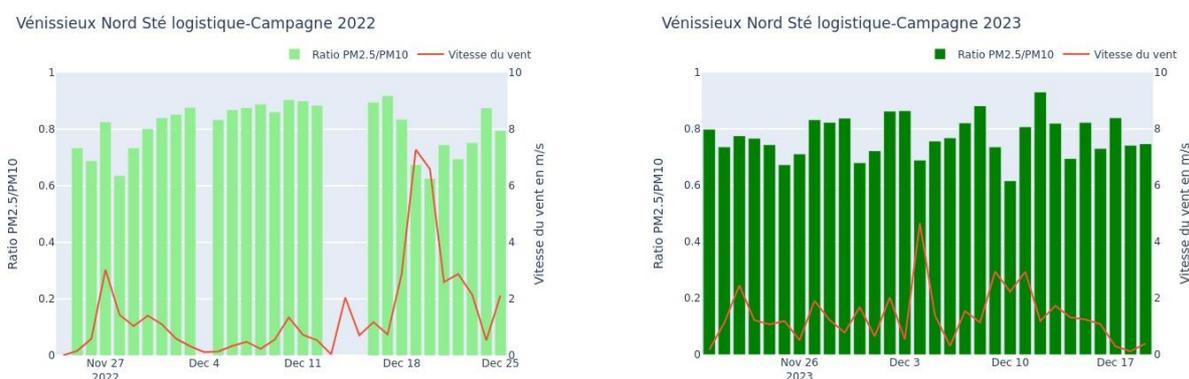


Figure 30 - Ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ et vitesse du vent sur le site Vénissieux Nord

Le site Vénissieux Sud semble être moins concerné par la remise en suspension des particules lors de la campagne 2023 (Figure 31).

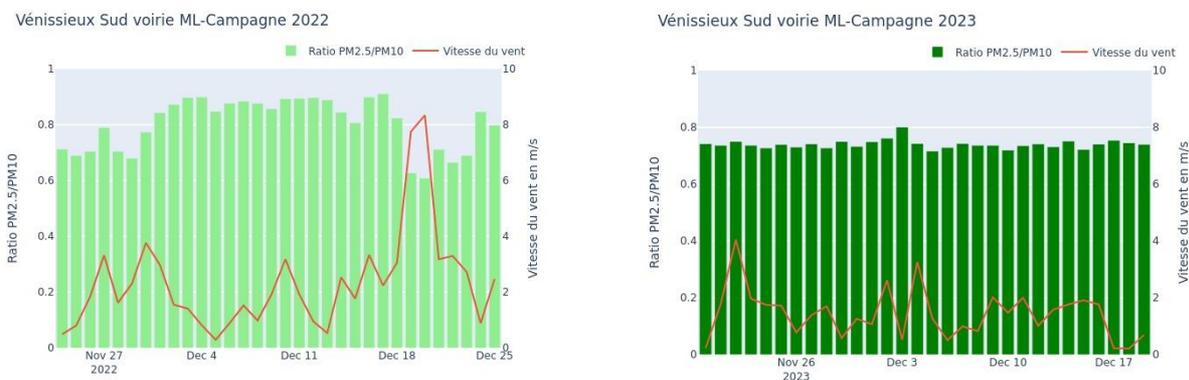


Figure 31 Ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ et vitesse du vent sur le site de Vénissieux Sud

Il apparaît dans cette première phase d'analyse que les différences entre les concentrations de particules mesurées sur différents sites dans l'environnement de la chaufferie sont peu significatives et qu'elles ne démontrent pas d'influence spécifique de la chaufferie sur les concentrations de particules mesurées dans son environnement.

Toutefois, même si quantitativement cette influence n'est pas avérée, il reste nécessaire d'objectiver cette influence de manière qualitative, en analysant la composition chimique des particules, et plus particulièrement de la matière organique dans laquelle se trouvent les principaux traceurs de biomasse.

3.4. Analyse qualitative des traceurs de biomasse dans les particules

3.4.1. Proportions de carbone organique (OC) et carbone élémentaire (EC)

Les graphiques suivants (Figure 32) illustrent les concentrations moyennes de **carbone organique (OC)** et **carbone élémentaire (EC)** mesurées dans la phase particulaire de diamètre inférieur à 10 microns (PM₁₀) sur les deux sites de l'étude (Vénissieux Nord et Vénissieux Sud) et sur le site de référence urbaine de Lyon Centre pendant la campagne 2022 (à gauche) et la campagne 2023 (à droite).

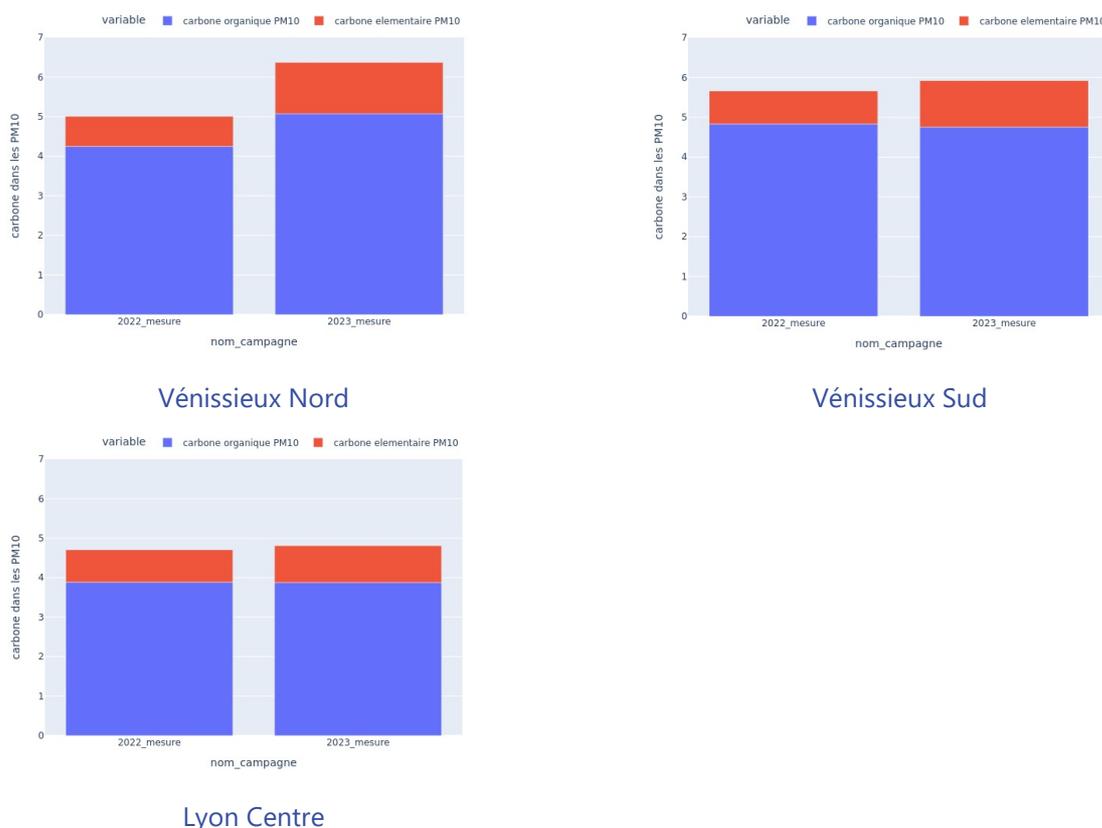
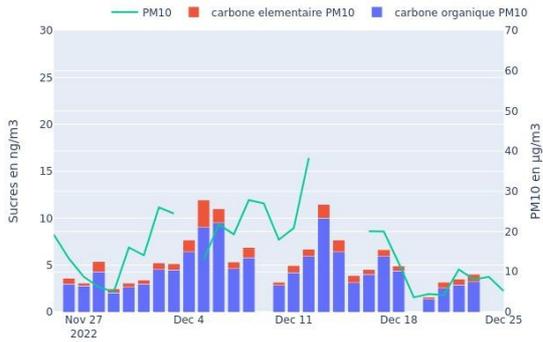


Figure 32 Concentration moyenne de carbone organique et carbone élémentaire sur les deux sites de Vénissieux et le site de référence de Lyon Centre

Sur les deux sites d'étude de Vénissieux (Figure 33 et Figure 34) et sur le site de référence de Lyon Centre (Figure 35), les concentrations journalières de carbone organique et élémentaire sont assez bien corrélées entre elles, elles suivent globalement la même tendance que les concentrations de PM₁₀ mesurées par microcapteurs.

La période de survenance de l'épisode de pollution atmosphérique du 18 au 19 décembre est bien caractérisée par une augmentation du carbone organique, confirmant le rôle des phénomènes de combustion durant cet épisode.

Vénissieux Nord Sté logistique-Campagne 2022



Vénissieux Nord Sté logistique-Campagne 2023

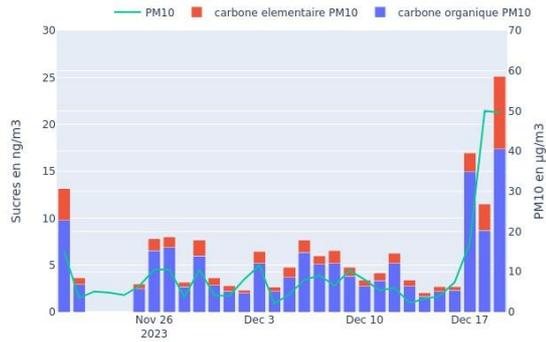
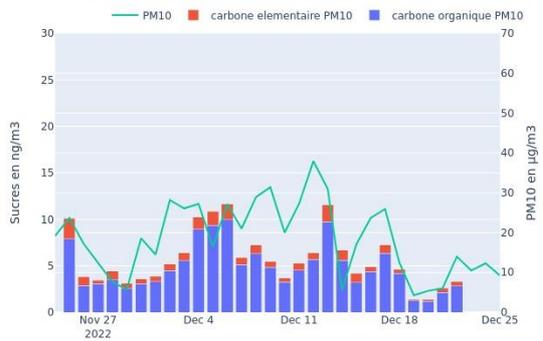


Figure 33 - Concentrations journalières en carbone organique, carbone élémentaire et PM10 sur le site Vénissieux Nord (Société logistique)

Vénissieux Sud voirie ML-Campagne 2022



Vénissieux Sud voirie ML-Campagne 2023

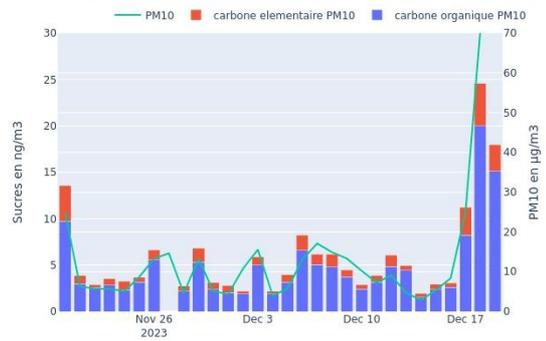
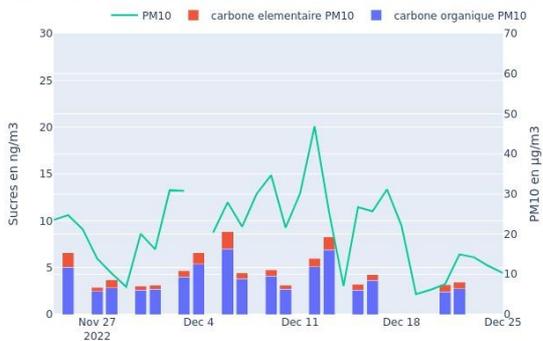


Figure 34 Concentrations journalières en carbone organique, carbone élémentaire et PM10 sur le site Vénissieux Sud (Voie ML)

Lyon Centre-Campagne 2022



Lyon Centre-Campagne 2023

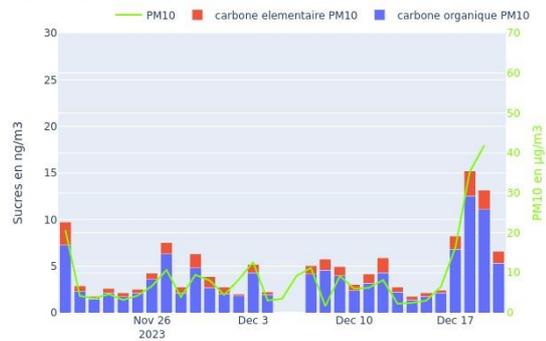
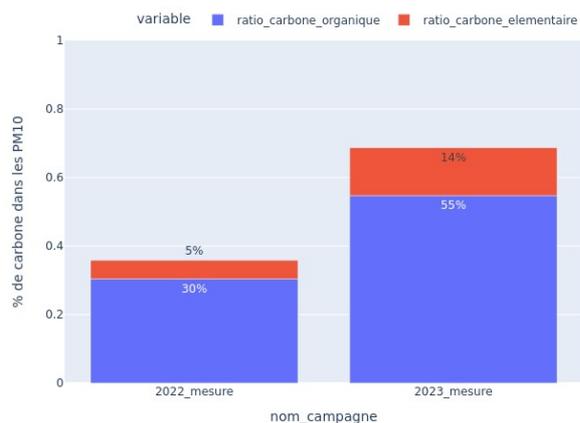


Figure 35 Concentrations journalières en carbone organique, carbone élémentaire et PM10 sur le site de Lyon Centre

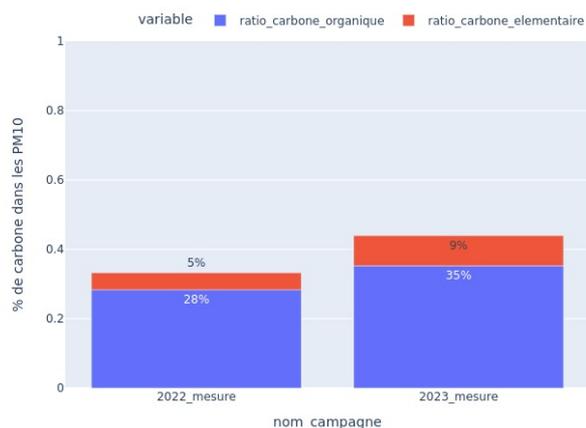
En milieu urbain, les PM10 sont généralement composées en moyenne de 20 à 30% de carbone organique, de 2 à 8 % de carbone élémentaire, et de 15 à 40% d'espèces ioniques, la proportion d'espèces non identifiées pouvant parfois atteindre 60%.

En période hivernale, la part de matière organique peut augmenter jusqu'à atteindre 50% de la masse des PM10, avec notamment des concentrations importantes en lévoglucosan et en HAP.

La proportion de carbone organique sur les deux sites autour de la chaufferie de Vénissieux (Figure 36) est supérieure à la proportion mesurée sur le site urbain de Lyon-Centre (Figure 37). Elle se situe dans les niveaux habituellement observés en zone urbaine et péri-urbaine sous l'influence de chauffage au bois (individuel et collectif).



Vénissieux Nord



Vénissieux Sud

Figure 36 Proportion moyenne de carbone organique et carbone élémentaire dans les PM10 sur les sites de Vénissieux Nord (à gauche) et sur le site de Vénissieux Sud (à droite)

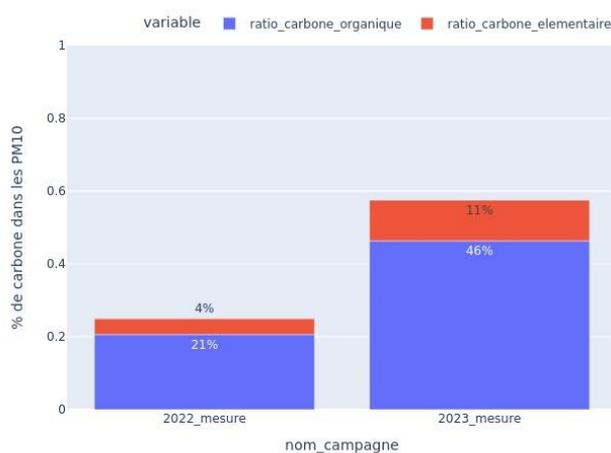


Figure 37 Proportion moyenne de carbone organique et carbone élémentaire dans les PM10 sur le site de référence de Lyon Centre

La proportion de carbone organique (OC) mesurée sur les sites de Vénissieux Nord et Vénissieux Sud est supérieure à celle mesurée sur le site de Lyon Centre en 2022 et 2023. Cette proportion montre une influence du chauffage au bois habituellement rencontrée sur des zones périurbaines où la proportion de chauffage au bois individuel et collectif est plus importante qu'en centre urbain.

Toutefois, la proportion mesurée en 2023 n'est pas assez élevée pour caractériser une influence significative de la nouvelle chaufferie sur son environnement immédiat.

Cependant, cette analyse doit être complétée par des mesures de lévoglucosan, composé considéré comme le traceur principal de la combustion de biomasse.

3.4.2. Mesure du lévoglucosan

Le lévoglucosan est un sucre issu de la combustion de la cellulose, le constituant principal de la paroi cellulaire de nombreux végétaux. A ce titre, sa mesure dans la phase PM10 permet d'évaluer la contribution du chauffage issu de la biomasse.

Dans le cadre de cette étude, les plus fortes concentrations de lévoglucosan ont été mesurées à la fin de la campagne 2023 (18 au 20 décembre 2023) (Figure 38). Ces fortes concentrations ont un impact significatif sur les moyennes.



Figure 38 Evolution de la concentration du levoglucosan dans les PM10 entre la campagne 2022 (à gauche) et la campagne 2023 (à droite)

Les concentrations de lévoglucosan sont bien corrélées sur les deux sites de l'étude et sur le site de référence urbaine. Toutefois, le site de référence de Lyon Centre affiche des niveaux de lévoglucosan légèrement inférieurs à ceux mesurés sur les deux sites de Vénissieux. Cette différence s'explique par une utilisation plus faible de la biomasse dans le chauffage en centre urbain par rapport aux zones périurbaines (avec notamment plus de maisons individuelles équipées d'installation individuelle au bois).

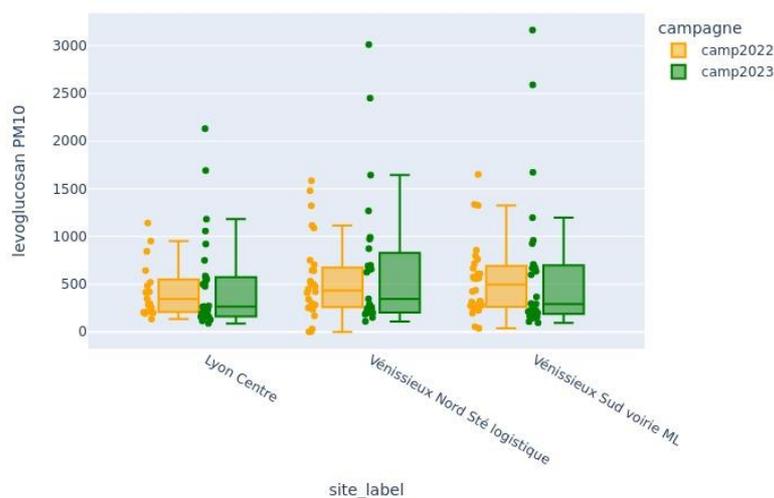


Figure 39 Statistiques des concentrations journalières de levoglucosan sur les trois sites de l'étude

Les taux de lévoglucosan sont également bien corrélés avec les concentrations de PM10 ; les taux les plus élevés ont été mesurés lors de l'épisode de pollution particulaire du 18 au 19 décembre 2023 attestant de l'origine « combustion » de cet épisode.

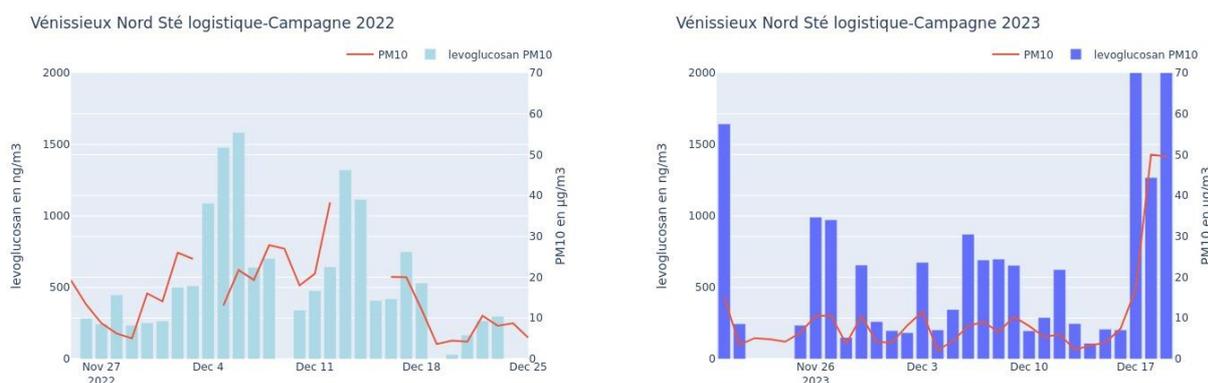


Figure 40 - Concentrations journalières en lévoglucosan en ng/m³ et PM10 en microg/m³ sur le site Nord société logistique

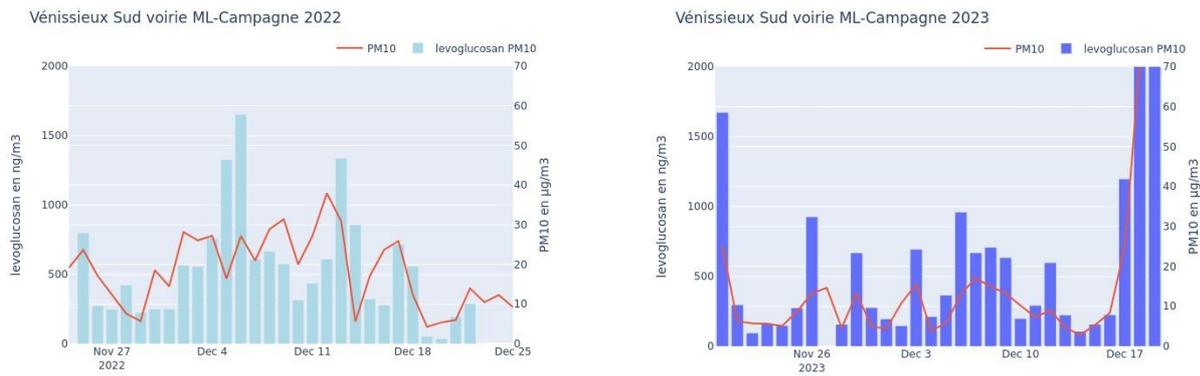


Figure 41 Concentrations journalières en levoglucosan en ng/m³ et PM10 en microg/m³ sur le site Sud Vénissieux voirie ML

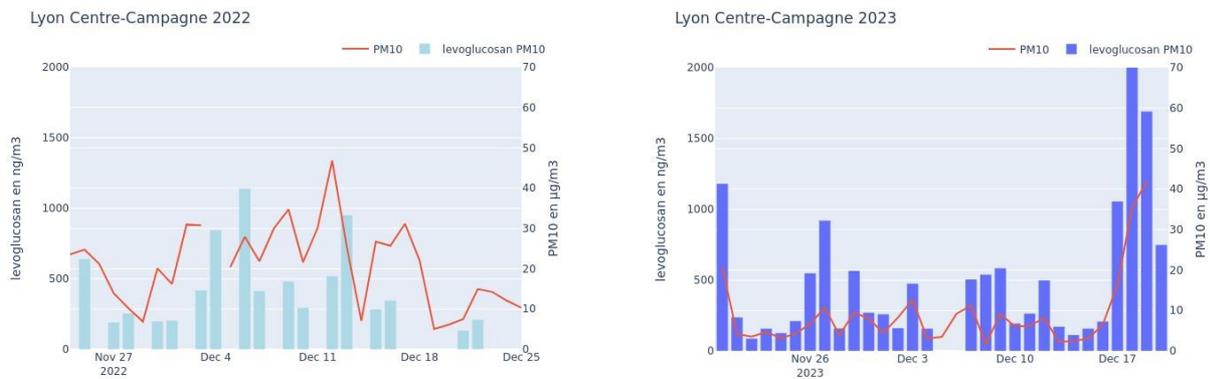


Figure 42 Concentrations journalières en levoglucosan en ng/m³ et PM10 en microg/m³ sur le site de référence de Lyon Centre

La mesure du lévoglucosan, associée à celle du carbone organique, permet d'évaluer la **contribution de la combustion de biomasse sur la fraction organique de l'aérosol**. Le calcul de ce facteur est défini en annexe de ce document (Puxbaum et al., 2007). Ce facteur exprime en pourcentage la **contribution du chauffage au bois** dans la fraction organique de l'aérosol (pour les particules de diamètre inférieur à 10 microns).

Pour les campagnes de 2022 et 2023, la contribution de la combustion de la biomasse est très proche sur les deux sites de Vénissieux (Figure 43 et Figure 44). Globalement, la contribution de la biomasse est anti-corrélée avec la température : quand la température diminue, la contribution de la combustion de la biomasse augmente. Cette contribution de la biomasse peut s'élever à 90% lorsque les températures sont faibles.



Figure 43 - Contribution de la combustion de biomasse à la fraction organique des PM10 sur le site de Vénissieux Nord Sté logistique

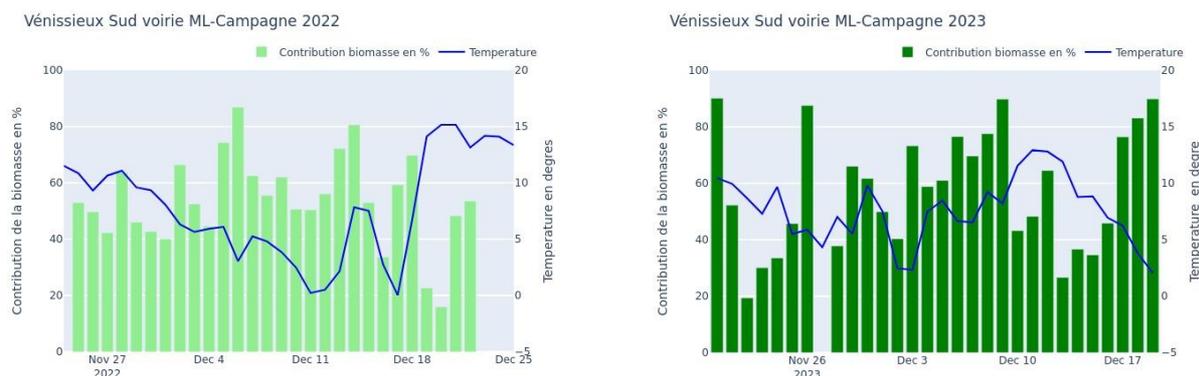


Figure 44 Contribution de la combustion de biomasse à la fraction organique des PM10 sur le site Sud Vénissieux

La mesure des traceurs de la combustion de la biomasse montre une influence de cette activité dès 2022 dans une zone où cette activité était déjà présente collectivement et individuellement. Concernant ce paramètre, l'influence d'une seule chaufferie n'est pas considérée comme significative sur son environnement.

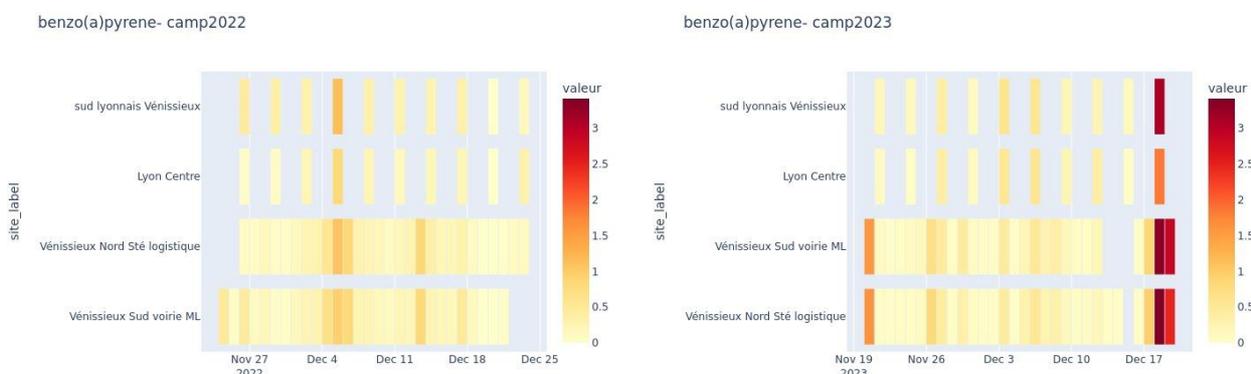
3.4.3. Analyse des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Les HAP sont émis par tous les processus de combustion de matière organique. La combustion du bois est une source importante d'émissions de HAP en air ambiant dans la phase particulaire. D'autres sources, comme la combustion des essences ou du fioul, sont également émettrices de HAP en phase particulaire et gazeuse.

Le Benzo(a)pyrène – composé réglementé

Parmi tous les HAP, le benzo(a)pyrène (B(a)P) est le seul qui soit réglementé en air ambiant avec une valeur cible⁶ fixée à 1 ng/m³ en moyenne annuelle. Le B(a)P est utilisé comme traceur du risque cancérigène lié aux HAP, mais il ne constitue pas un traceur d'influence du chauffage au bois sur son environnement.

Lors de la campagne de 2023, les taux de B(a)P mesurés lors des prélèvements du 18 et 19 décembre se sont révélés plus élevés sur les sites de Vénissieux Nord, Vénissieux Sud et la station fixe « Sud Lyonnais Vénissieux » et dans une moindre mesure sur le site de référence de Lyon Centre (Figure 45). La faible dispersion atmosphérique observée ce jour-là sur l'ensemble du bassin lyonnais pourrait avoir favorisé l'accumulation des émissions de toutes les sources de benzo(a)pyrène (industrie, chauffage, trafic, etc).



⁶ La Directive n° 2004/107/CE du 15/12/04 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant a fixé la valeur cible pour le B(a)P à 1 ng.m-3 (moyenne calculée sur l'année civile du contenu total de la fraction PM10) à respecter à partir du 31/12/2012.

Figure 45 - Concentrations journalières en B(a)P sur l'ensemble des sites de l'étude lors de la campagne de 2022 (à gauche) et lors de la campagne 2023 (à droite)

Il est malheureusement difficile pour ce polluant de discriminer la provenance des émissions recensées sur une journée lorsque l'on se trouve en zone multi-émettrice dans la Métropole de Lyon. Le B(a)P mesuré pourrait provenir aussi bien de la chaufferie que d'autres sources industrielles proches, d'installations de chauffage au bois résidentielles, du trafic routier ou de brûlages sauvages dont l'influence n'est pas négligeable dans le secteur (Figure 46).

Répartition sectorielle de B(a)P (2021)

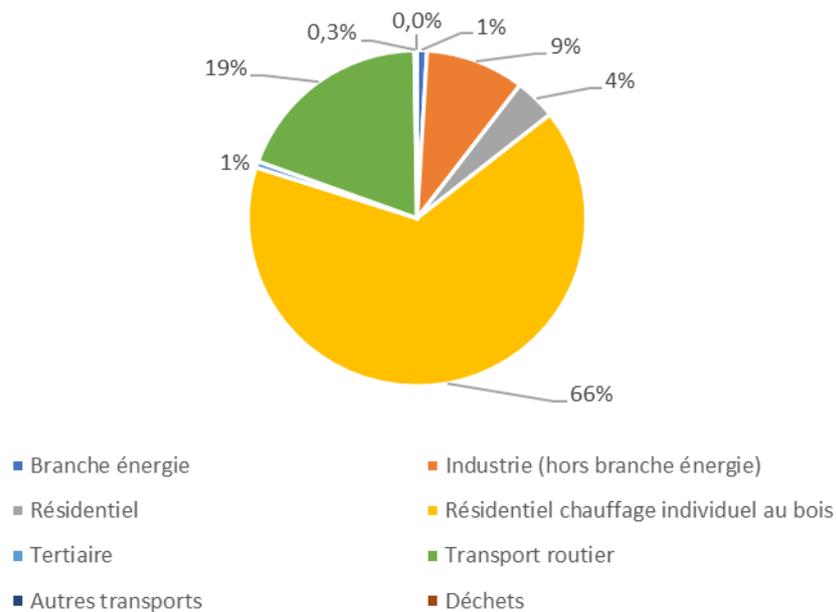


Figure 46 - Répartition des émissions de B(a)P par secteur d'activité (PCAET) / Métropole de Lyon (2021)
Unité : % / source : Inventaire ESPACE V2023

Il apparaît que sur l'ensemble des sites de l'étude, les concentrations de benzo(a)pyrène mesurées en 2023 ont été supérieures à celles de 2022 (Figure 47). L'augmentation observée sur les deux sites de Vénissieux entre 2022 et 2023 n'est pas locale mais liée à une augmentation générale des niveaux aussi observée sur les sites de référence.

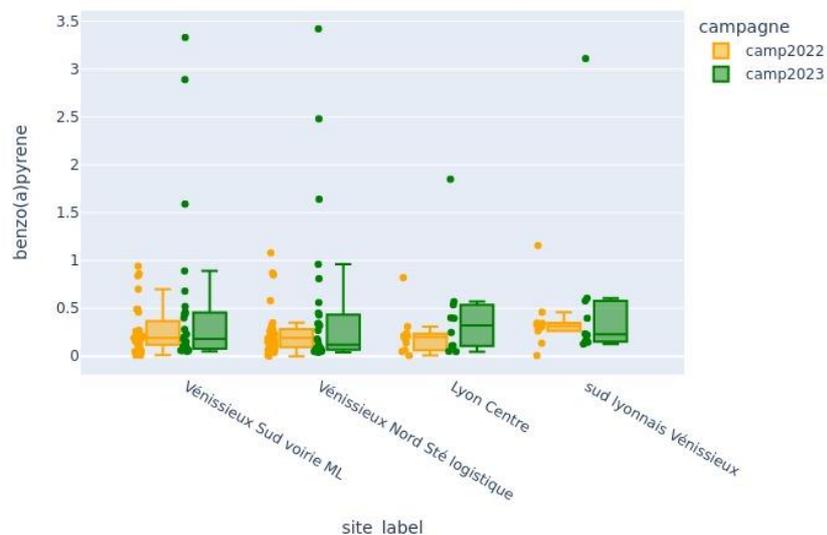


Figure 47 Statistiques des concentrations journalières de benzo(a)pyrène en ng/m³ sur les deux sites de l'étude (Vénissieux Nord et Vénissieux Sud) et sur les deux sites de référence (Lyon Centre – urbain de fond et Sud Lyonnais Vénissieux – influence industrielle)

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) étant mesurés dans la phase particulaire inférieure à 10 microns, une bonne corrélation est donc observée entre les HAP, dont le benzo(a)pyrène, avec les PM10 pour l'ensemble des sites (Figure 48, Figure 49 et Figure 50).

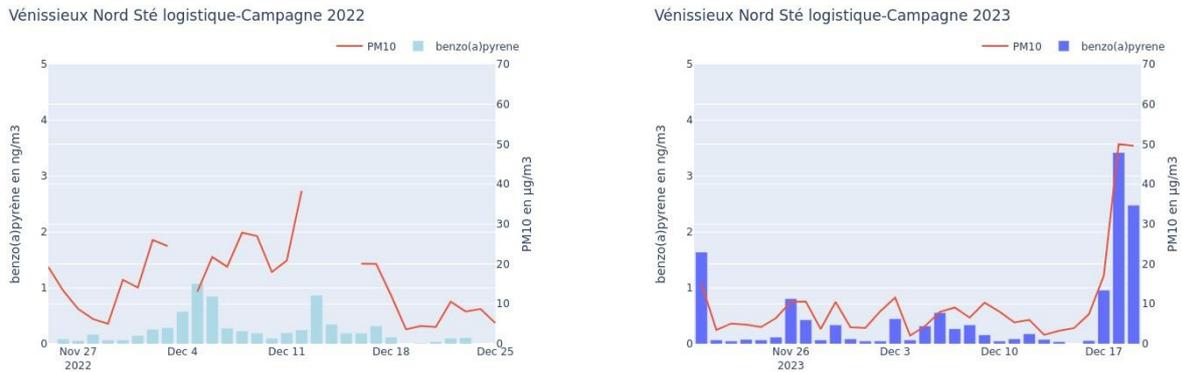


Figure 48 Concentrations en benzo(a)pyrène sur le site Vénissieux Nord lors de la campagne de 2022 à gauche et lors de la campagne de 2023 à droite

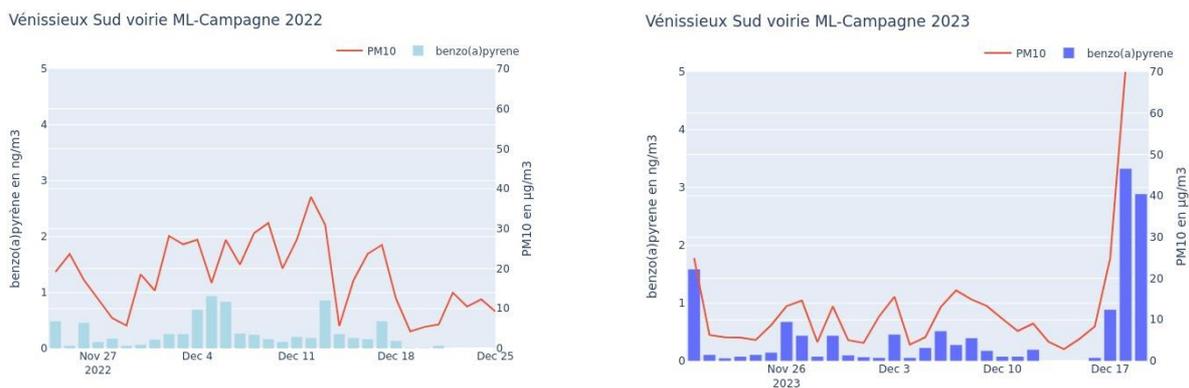


Figure 49 Concentrations en benzo(a)pyrène sur le site de Vénissieux Sud lors de la campagne de 2022 à gauche et lors de la campagne de 2023 à droite

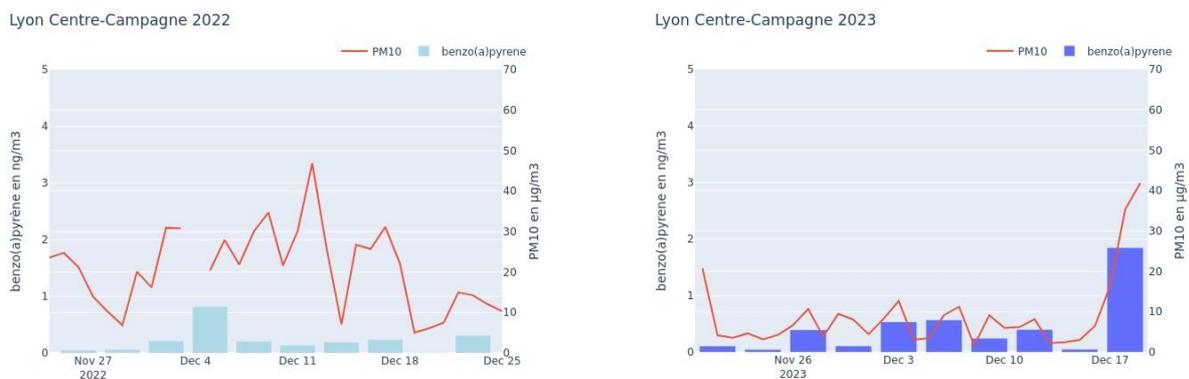


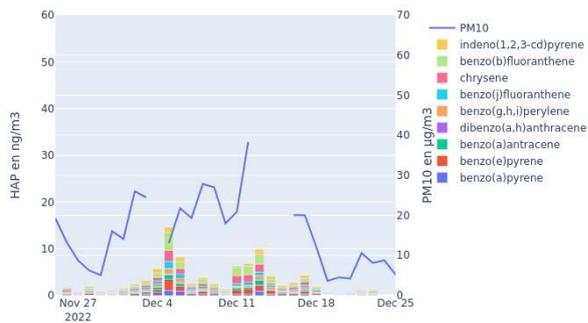
Figure 50 Concentrations en benzo(a)pyrène sur le site de Lyon Centre lors de la campagne de 2022 à gauche et lors de la campagne de 2023 à droite

Comportement des HAP « totaux »

Outre le B(a)P, les autres HAP ont aussi été mesurés quotidiennement sur les deux sites d'étude de Vénissieux Nord (Figure 51) et Vénissieux Sud (Figure 52). Des prélèvements ont également eu lieu sur les sites fixes de Lyon Centre (Figure 53) et Sud Lyonnais Vénissieux (Figure 54) pour ces composés. Ces deux stations constituent les valeurs de référence pour un environnement urbain et un environnement périurbain sous influence industrielle.

Comme pour le carbone organique et élémentaire, ainsi que le lévoglucosan, les niveaux totaux de HAP les plus importants ont été mesurés durant l'épisode de pollution du 18 décembre 2023.

Chaufferie Vénissieux Sté logistique-Campagne 2022



Chaufferie Vénissieux Sté logistique-Campagne 2023

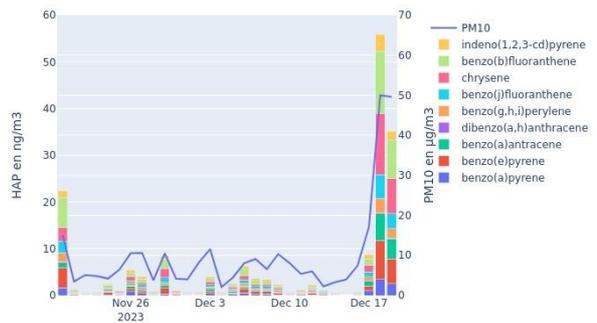
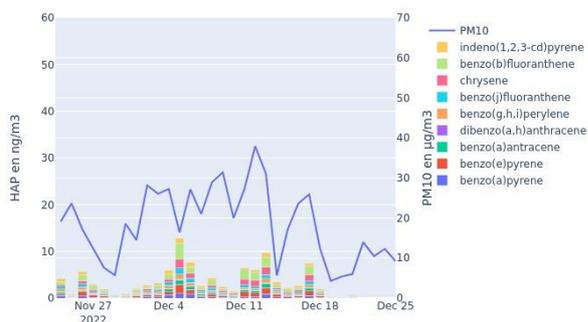


Figure 51 : Somme journalière des 9 HAP pour le site de Vénissieux Nord en 2022 (à gauche) et en 2023 (à droite)

Chaufferie Vénissieux voirie ML-Campagne 2022



Chaufferie Vénissieux voirie ML-Campagne 2023

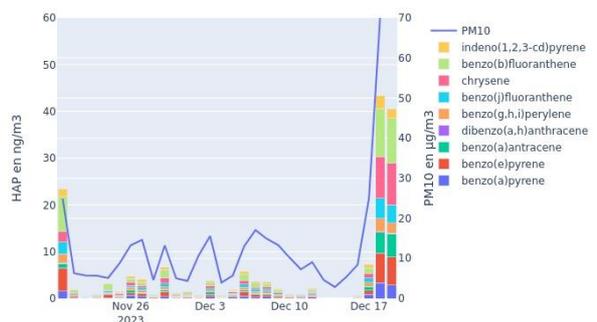
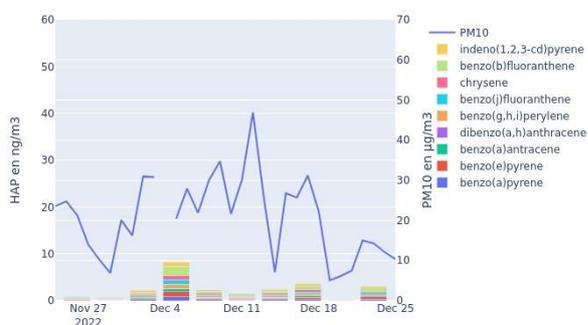


Figure 52 Somme journalière des 9 HAP pour le site de Vénissieux Sud en 2022 (à gauche) et en 2023 (à droite)

Lyon Centre-Campagne 2022



Lyon Centre-Campagne 2023

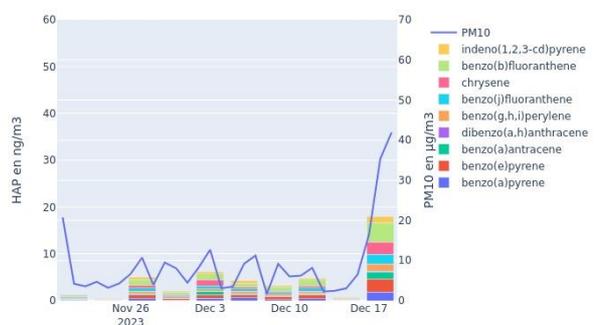
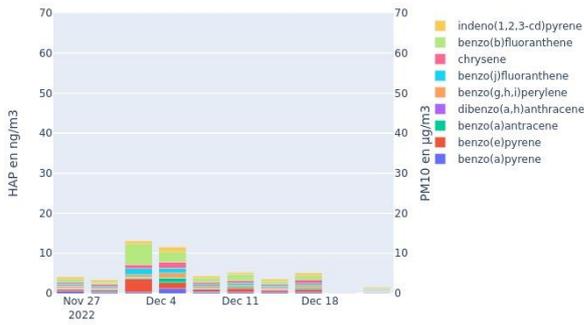


Figure 53 Somme journalière des 9 HAP pour le site de référence de Lyon Centre en 2022 (à gauche) et en 2023 (à droite)

sud lyonnais Vénissieux-Campagne 2022



sud lyonnais Vénissieux-Campagne 2023

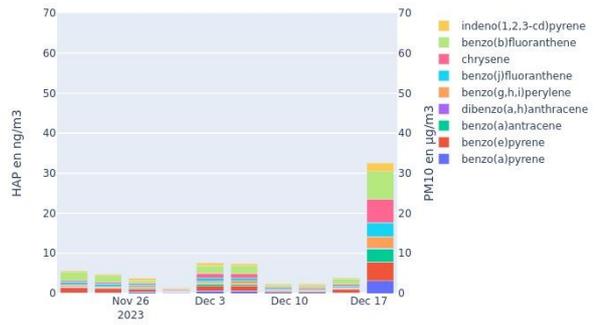


Figure 54 Somme journalière des 9 HAP pour le site de référence de Sud Lyonnais Vénissieux (site péri urbain sous influence industrielle)

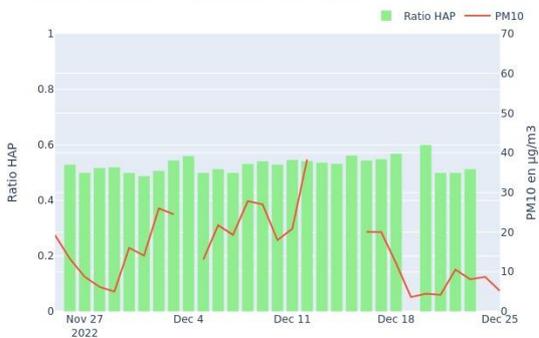
Analyse des HAP « traceurs »

Quelques HAP spécifiques peuvent être considérés comme traceurs de combustion de biomasse (benzo(a)anthracène, chrysène), mais c'est essentiellement le ratio $\frac{\text{Indeno}(1,2,3\text{-cd})\text{pyrène}}{\text{Benzo}(g,h,i)\text{pérylène}}$ qui renseigne sur l'influence de la biomasse dans la composition des particules.

Pour les HAP, une valeur élevée du ratio $\frac{\text{Indeno}(1,2,3\text{-cd})\text{pyrène}}{\text{Indeno}(1,2,3\text{-cd})\text{pyrène} + \text{benzo}(g,h,i)\text{pérylène}}$ est considérée comme représentative d'une forte contribution de la combustion du bois.

Sur l'ensemble de l'étude, ce ratio a été modéré, avec des valeurs avoisinant 0,5 pour l'ensemble des sites (Figure 55, Figure 56, Figure 57, Figure 58).

Vénissieux Nord Sté logistique-Campagne 2022



Vénissieux Nord Sté logistique-Campagne 2023



Figure 55 - Calcul du ratio IP/(IP+BghiP) sur le site de Vénissieux Nord lors de la campagne 2022 à gauche et 2023 à droite

Vénissieux Sud voirie ML-Campagne 2022



Vénissieux Sud voirie ML-Campagne 2023



Figure 56 Calcul du ratio $IP/(IP+BghiP)$ sur le site de Vénissieux Sud Nord lors de la campagne 2022 à gauche et 2023 à droite



Figure 57 Calcul du ratio $IP/(IP+BghiP)$ sur le site de référence de Lyon Centre lors de la campagne 2022 à gauche et 2023 à droite

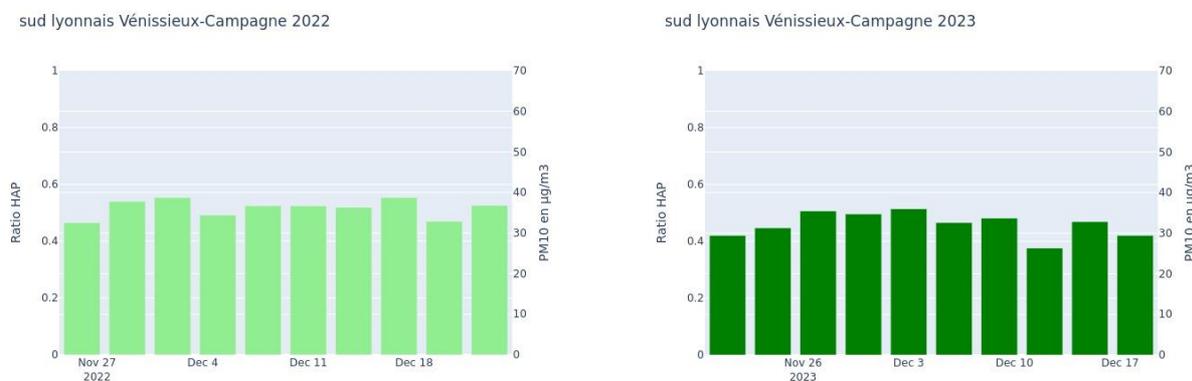


Figure 58 Calcul du ratio $IP/(IP+BghiP)$ sur le site de référence de Sud Lyonnais Vénissieux lors de la campagne 2022 à gauche et 2023 à droite

Concernant les HAP, notamment pour le benzo(a)pyrène, les niveaux mesurés sur les deux sites de Vénissieux ont été proches de ceux mesurés sur les sites de référence de Lyon Centre (urbain de fond) et Sud Lyonnais (proximité industrielle). Le ratio $IP/(IP+BghiP)$ a été modéré, avec des valeurs avoisinant 0,5 pour l'ensemble des sites. En outre, il a été comparable sur les deux sites de Vénissieux autour de la chaufferie et sur les sites de référence.

Comme pour les autres composés, la mesure de HAP ne permet pas de mettre en évidence un impact de la nouvelle chaufferie de Vénissieux.

4. CONCLUSION

Avant toute conclusion, il semble nécessaire de rappeler les limites contextuelles de cette étude et son objectif.

La plupart des référentiels réglementaires concernant la pollution atmosphérique sont annuels ; il est donc difficile de tirer des conclusions définitives issues du comparatif entre des valeurs mesurées lors de deux campagnes de quatre semaines hivernales réalisées sur deux années différentes et des valeurs cibles ou seuils d'évaluation annuels.

L'objectif de cette étude n'est donc pas de réaliser un bilan réglementaire sur les composés ciblés.

Cette étude a pour objectif d'évaluer si la mise en place au cours de l'année 2023 d'une nouvelle chaufferie biomasse à Vénissieux pourrait avoir eu un impact significatif sur la qualité de l'air de ce secteur.

Cette nouvelle chaufferie est **localisée sur une zone multi-sources** (grandes voiries, tissu industriel dense, brûlages sauvages, chauffage individuel...), et ses émissions propres viennent donc s'ajouter aux émissions locales déjà existantes et aux imports de pollution qui ne doivent pas être négligés.

La méthodologie mise en œuvre par Atmo Auvergne Rhône Alpes consiste à réaliser des mesures indicatrices de la pollution atmosphérique par les particules et de la contribution de la combustion de la biomasse avant et après la mise en place de cette nouvelle installation.

La réalisation de deux campagnes de mesures, une avant la mise en fonctionnement de la chaufferie au cours de l'hiver 2022 et une autre campagne de mesure après la mise en fonctionnement de la chaufferie au cours de l'hiver 2023 n'a pas pu montrer une évolution notable des indicateurs mesurés (pollution particulaire, contribution de la biomasse) qui puisse être affecté à la seule mise en service de cette nouvelle chaufferie.

Malgré les données de caractérisation chimique des particules, il reste difficile de discriminer la provenance exacte des composés sachant que d'autres installations appartenant à ce secteur sont déjà en fonctionnement sur la commune.

Enfin, même lorsque l'analyse qualitative permet de séparer la combustion de biomasse des autres sources, il reste **impossible de discriminer la part provenant du chauffage bois collectif, notamment des chaufferies, de celle provenant des installations individuelles de chauffage bois.**

Les hausses de concentrations de particules et d'hydrocarbures, et l'augmentation de la contribution de la combustion de biomasse ont été observées lorsque les conditions météorologiques ont été défavorables (températures faibles, absence de dispersion). Dans ce cas, la dégradation de la qualité de l'air est la conséquence de toutes les sources locales et des apports.

Même si la réalisation de mesures à proximité immédiate d'une installation n'a pu mettre en évidence un impact ponctuel et local, il ne faut pas négliger le fait qu'elle participe, avec toutes les autres sources, à l'augmentation de la pollution de fond dont les effets se font sentir sur un plus vaste territoire et de façon chronique.

Annexes

Annexe 1 - Contribution de la combustion de biomasse

A partir des concentrations en carbone organique et en lévoglucosan, et en utilisant les données à l'émission de la littérature (Puxbaum et al., 2007), la contribution de la combustion de biomasse sur la fraction organique de l'aérosol est estimée à partir de cette formule :

$$Contribution = \frac{[lévoglucosan] \times 7,35}{[OM]}$$

avec [lévoglucosan] : concentration en lévoglucosan (en ng.m⁻³)

[OM] : concentration en matière organique (en ng.m⁻³)

= 1,4 x concentration en carbone organique (en ng.m⁻³)

Cette contribution est exprimée généralement en pourcentage.

Le facteur 7,35 est un facteur issu de mesures d'OC (Carbone Organique dans la phase PM10) et de lévoglucosan effectuées à l'émission pour des bois durs (Fine et al. 2004).

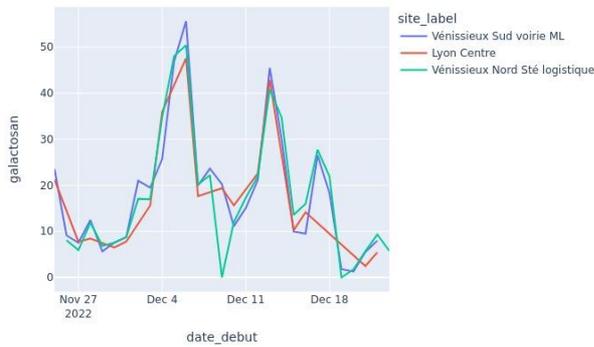
La concentration en matière organique (OM) est déterminée en appliquant un facteur correctif prenant en compte les atomes autres que le carbone formant la matière organique (en particulier l'oxygène). Ce facteur correctif est classiquement de 2,2 pour la combustion de bois et de 1,2 pour les émissions véhiculaires (Turpin and Lim, 2001).

Pour la matière carbonée ne provenant pas exclusivement d'une de ces deux sources spécifiques, tel que c'est généralement le cas pour une atmosphère de fond urbain ou rural, un facteur médian de 1,4 est utilisé en périodes estivale, automnale et printanière. En période hivernale, lorsque les émissions dues à la combustion du bois sont potentiellement plus importantes, le facteur utilisé a été de 1,78 (facteur mesuré à Grenoble dans le cadre du programme Primequal FORMES en 2009).

Annexe 2 - Mesure des deshydrates

Dans le cadre de cette étude, la mesure des sucres, plus particulièrement du lévoglucosan et un de ses deux isomères (galactosan), constitue un élément non ambigu d'évaluation de la combustion de la biomasse (Figure 59).

galactosan- camp2022



galactosan- camp2023



Figure 59 Concentrations journalières en galactosan en 2022 à gauche et en 2023 à droite

La famille des deshydrates comprend d'autres composés qui ont aussi été mesurés (arabitol sur la Figure 60, glucose sur la Figure 61, mannitol sur la Figure 62) qui ne sont pas considérés comme des traceurs de la combustion de la biomasse. Pour ces trois composés, leurs concentrations ne sont d'ailleurs pas corrélées au lévoglucosan.

arabitol- camp2022



arabitol- camp2023

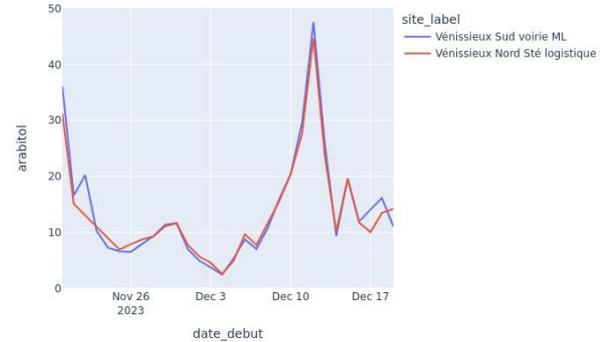


Figure 60 Concentrations journalières en arabitol en 2022 à gauche et en 2023 à droite

glucose- camp2022



glucose- camp2023



Figure 61 Concentrations journalières en glucose en 2022 à gauche et en 2023 à droite

mannitol- camp2022



mannitol- camp2023



Figure 62 Concentrations journalières en mannitol en 2022 à gauche et en 2023 à droite