

# Amélioration des connaissances sur les niveaux de benzo(a)pyrène et de particules en suspension dans l'air ambiant sur le secteur de Passy – Sallanches

---

Année 2020



Diffusion : Février 2022

---

Siège social :  
3, allée des Sorbiers 69500 BRON  
Tel. 09 72 26 48 90  
[contact@atmo-aura.fr](mailto:contact@atmo-aura.fr)

# Conditions de diffusion

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (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'État 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](http://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 (2022) Amélioration des connaissances sur les niveaux de benzo(a)pyrène et de particules en suspension dans l'air ambiant sur le secteur Passy - Sallanches**

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](mailto:contact@atmo-aura.fr)
- par téléphone : 09 72 26 48 90

## Financement et partenariats

Cette étude d'amélioration de connaissances a été rendue possible grâce aux données générales de l'observatoire, financé par l'ensemble des membres d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Les données liées à la surveillance de SGL Carbon ont été produites grâce à la participation financière de SGL CARBON.

Cette étude a été menée en partenariat avec le Laboratoire EDYTEM (Unité mixte de recherche CNRS-Université Savoie Mont Blanc).

# ➤ Résumé

## Contexte et méthodologie

Le secteur de Sallanches-Passy est historiquement impacté, notamment en période hivernale, par les particules, en raison d'émissions importantes et surtout d'un confinement particulier des masses d'air en fond de vallée. En parallèle de la problématique des particules, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a débuté la surveillance des concentrations de HAP en 2008 dans la vallée de l'Arve, et principalement celle du **benzo(a)pyrène (B(a)P)**, seul HAP soumis à une valeur cible réglementaire fixée à 1 ng/m<sup>3</sup>. Parmi les sites faisant l'objet d'une surveillance pérenne du B(a)P en Auvergne-Rhône-Alpes, la station de Passy enregistre les niveaux les plus élevés. Même si les concentrations sont en diminution régulière depuis le début des mesures en 2008, **le site fixe de Passy était en dépassement de la valeur cible de 2008 à 2016. Malgré la baisse des niveaux de particules et de benzo(a)pyrène depuis plusieurs années, ces polluants de par leurs niveaux proches des valeurs cibles nécessitent une meilleure compréhension.**

L'inventaire des émissions d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes indique que, que ce soit pour les PM10 ou le benzo(a)pyrène, selon les estimations, **le secteur résidentiel/tertiaire, et notamment le chauffage au bois non performant, est de loin le plus fort contributeur aux émissions annuelles : 65% pour les PM10 et 82% pour le benzo(a)pyrène, à l'échelle de la communauté de communes du Pays du Mont-Blanc<sup>1</sup>.** Plusieurs études de recherche ont montré des résultats similaires concernant la contribution aux concentrations de PM10, néanmoins des interrogations persistantes sur la contribution des différentes sources d'émission aux concentrations résultantes de PM et de benzo(a)pyrène.

Ainsi, en 2020, en parallèle de la mise en œuvre de la surveillance en air ambiant imposée dans le cadre de l'arrêté préfectoral de SGL Carbon, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a souhaité compléter le dispositif de mesures afin d'améliorer les connaissances sur **la répartition spatiale des particules et du benzo(a)pyrène** sur le secteur de Passy-Sallanches et **de mieux comprendre les concentrations élevées et la contribution des sources**, notamment aux concentrations de benzo(a)pyrène observées sur la station de Passy. Pour cela, un partenariat a également été établi avec le laboratoire EDYTEM.

Les mesures ont été mises en œuvre pendant l'année 2020. Pour cette étude, le déploiement de quatre sites temporaires de mesures a été réalisé en complément des stations urbaines du réseau de mesures fixes : « **Passy** » et « **Sallanches** ». Deux d'entre eux ont été installés dans le cadre de la surveillance réglementaire de SGL CARBON, l'un en proximité industrielle « **Passy-Chedde** », l'autre en site de fond « **Passy-Les Granges** ». Deux autres sites ont été instrumentés durant les mois de janvier à mars 2020 : un deuxième site potentiellement sous influence industrielle, à proximité de la salle « **Les Cités Jardins** », un site hors influence situé sur le « **Plateau d'Assy** », à un peu moins de 1000 mètres d'altitude.

Cette étude s'est donc déroulée en 2020 dans le contexte particulier de la crise sanitaire liée à l'épidémie de COVID19. L'analyse des données à l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes a permis de montrer l'impact particulier sur les concentrations d'oxydes d'azote de l'année 2020, avec des niveaux de manière générale inférieurs aux années précédentes. En revanche, en ce qui concerne les particules en suspension, il n'y a pas eu d'effet manifeste.

## Résultats et conclusions

☞ **Sur la répartition spatiale et temporelle du benzo(a)pyrène et des particules en suspension, polluants réglementés en air ambiant en raison de leur impact sanitaire:**

- La **répartition spatiale des particules en suspension est plutôt homogène** sur le secteur de Passy-Sallanches, avec toutefois des niveaux supérieurs sur les stations urbaines de Passy et Sallanches en zone résidentielle. De mai à septembre, les niveaux moyens observés sont similaires sur l'ensemble du secteur Passy-Sallanches et équivalents au niveau de fond régional.
- Concernant le **benzo(a)pyrène, le secteur résidentiel de Passy présente la concentration moyenne annuelle la plus élevée.** Cette zone pour laquelle le niveau est supérieure à la valeur cible est peu

<sup>1</sup> A l'échelle du département Haute-Savoie, la contribution du résidentiel est de 65% pour les PM10 et 87.6% pour le B(a)P

étendue géographiquement. En proximité industrielle, à Chedde, la valeur cible est respectée. Le site d'altitude du Plateau d'Assy, dont les niveaux sont restés très bas même pendant l'épisode de pollution en janvier, a par ailleurs clairement montré que la problématique du benzo(a)pyrène se cantonne au fond de vallée.

- Les niveaux de HAP à Sallanches et Passy peuvent être proches, durant certaines journées, et sont supérieurs au reste de la vallée, constituant ainsi des points de surexposition, particulièrement en saison froide, lorsque le chauffage constitue une source importante. L'aérodologie joue un rôle très important et complexe. On observe régulièrement un écoulement général préférentiel de la masse d'air (entraînant les polluants) vers le bas de la vallée.

#### ☞ **sur la contribution des différents secteurs d'activité**

La question de la contribution des différentes sources de polluants aux concentrations résultantes en un point donné est délicate, elle ne peut pas être tranchée avec certitude dans la mesure notamment où d'une part les rejets polluants sont dilués par les conditions météorologiques et ne se dispersent pas tous de la même manière, d'autre part les particules en suspension et le benzo(a)pyrène sont émis par différentes sources, dont les émissions ne sont pas toujours connues avec précision. Elle est par ailleurs variable dans le temps et dans l'espace. L'analyse de toutes les données disponibles permet néanmoins de proposer des conclusions.

Cette étude, notamment à l'aide du partenariat de recherche, confirme la contribution essentielle de la combustion de biomasse à la fraction organique des particules en suspension.

Concernant le **benzo(a)pyrène**, les différentes analyses indiquent également **la contribution importante du secteur résidentiel en période froide**. De mai à septembre, les sources de B(a)P dans la vallée ont un impact faible sur les concentrations, les niveaux restent bas, inférieurs à ceux observés par exemple à la Léchère en Tarentaise, mais sont toutefois un peu plus importants sur la zone de Passy par rapport à Sallanches. En été, les taux enregistrés à la station de Passy restent du même ordre que ceux de la station de Chedde, montrant une probable contribution des activités industrielles.

Les différentes analyses, notamment à l'aide du benzo(b)naphto(2,1)thiophène, montrent que même si la station de Sallanches peut être influencée ponctuellement, la contribution du chauffage y est plus importante qu'à Passy et celle des activités industrielles moindre. **L'influence de la contribution industrielle est ainsi plus forte sur le secteur Passy, Chedde, Cités jardins par rapport à la zone Les Granges-Sallanches.**

**Les chiffres de l'inventaire d'émissions établi par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes indiquent sur les mois les plus froids une contribution d'environ 30% de l'industrie aux émissions totales de B(a)p en 2018 sur la commune de Passy, tendant vers 20% en 2020 avec la baisse des émissions industrielles. Ces chiffres sont en correspondance avec les différentes mesures réalisées et pourraient représenter la part maximale de la contribution de SGL CARBON aux concentrations hivernales de la station de Passy. Compte tenu des émissions irrégulières de l'usine, il est possible que la contribution soit plus forte ponctuellement.** En été, l'activité industrielle est la principale activité contributrice connue aux concentrations de B(a)P, qui sont très faibles par rapport à celles de l'hiver.

L'étude des corrélations entre les concentrations de HAP et les particules liées à la combustion de biomasse sur les dernières années montre effectivement que la corrélation avec la biomasse est forte, particulièrement pour le benzo(a)pyrène et qu'elle est plus importante après 2018, ce qui traduit une baisse de la contribution de l'industriel.

#### ☞ **Recommandations sur la surveillance du secteur et de l'établissement industriel SGL CARBON**

Les mesures de PM10 et PM2,5 réalisées sur le secteur montrent que les valeurs limites et l'objectif de qualité sont respectées. Elles montrent par ailleurs une faible contribution de SGL CARBON amenée à diminuer compte tenu des réductions d'émission présentées par l'industriel. Ainsi, même si l'ensemble des stations sont intéressantes pour une bonne description de la zone, le nombre de moyens mobilisés est très important au regard de la situation vis-à-vis de la réglementation. Dans le cadre strict de la surveillance de SGL CARBON, le dispositif de mesures des PM10 et PM2,5 pourrait probablement être allégé.

Concernant le benzo(a)pyrène, la multiplication des points de mesures a permis de décrire la variabilité spatiale et montré que le secteur géographique dont les niveaux sont proches de la valeur cible est peu étendu et ne concerne pas la proximité industrielle directe. Concernant les contributions, l'étude de la variabilité spatiale n'est pas suffisante pour conclure. Les mesures de BNT2,1 ont montré que ce composé est intéressant pour

mieux appréhender la contribution de l'activité industrielle. Cette piste doit donc être poursuivie. Les mesures de BNT2,1 sur le secteur « Cités jardins » ont montré également que les niveaux sont généralement supérieurs au site de « Passy-Chedde », indiquant une possible contribution plus importante sur ce secteur de l'activité industrielle. En conséquence, une campagne d'évaluation plus complète pourrait être réalisée sur ce secteur (Cités jardins), en même temps que des mesures dans l'enceinte du site et/ou à l'émission, pour s'assurer d'une part de la bonne capacité de « marqueur » d'activité de ce composé, d'autre part de la position optimale du site de surveillance en proximité industrielle.

A terme, des mesures simultanées des différents marqueurs d'activités : **levoglucosan** pour la combustion de biomasse et **BNT2,1** pour l'activité industrielle sur un nombre très réduit de points de mesures seraient probablement suffisantes pour la surveillance de l'air ambiant de la zone.

# >> Sommaire

<b>1. Contexte</b>	<b>9</b>
<b>2. Méthodologie</b>	<b>13</b>
2.1 Les sites de mesure	13
2.2 Composés analysés	14
2.3 Matériel	15
<b>3. Résultats</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Répartition spatiale et temporelle des particules en suspension</b>	<b>17</b>
3.1.1 Répartition spatiale	17
3.1.2 Evolution temporelle	19
<b>3.2 Répartition spatiale et temporelle du Benzo(a)pyrène</b>	<b>21</b>
3.2.1 Répartition spatiale annuelle	21
3.2.2 Analyse de journées particulières en période froide	22
3.2.3 Evolution temporelle des concentrations de benzo(a)pyrène	29
<b>3.3 Quelle est la contribution des différents secteurs sur les concentrations de PM et de B(a)P ?</b>	<b>30</b>
3.3.1 Les sites présentent-ils une signature ou un comportement différent ?	31
3.3.2 L'analyse du BNT(2,1) permet-elle de tirer des conclusions sur la contribution de l'industrie ?	37
3.3.3 Que nous apprend l'étude des incidents survenus lors du fonctionnement de SGL Carbon sur la contribution de son activité industrielle ?	41
3.3.4 Les méthodes utilisées par la recherche permettent-elles d'apporter des compléments ?	45
3.3.5 Ces éléments sont-ils cohérents avec les inventaires d'émission ?	47
<b>4. Conclusions et perspectives</b>	<b>48</b>

## Illustrations

Figure 1 Moyennes annuelles PM10 sur le territoire de la Haute-Savoie	9
Figure 2 Moyennes annuelles de B(a)P sur différents sites de la région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 2007	10
Figure 3 Tableau d'émissions canalisées - Données SGL Carbon	10
Figure 4 Contribution des différents secteurs d'activité aux émissions de PM10 (à gauche) et de B(a)P (à droite) sur le territoire de la CCPMB en 2018 (version Inventaire : ESPACE AuRA V2020 - v81)	12
Figure 7 Carte des sites d'étude	14
Figure 8 Laboratoires mobiles utilisés pour l'étude	15
Figure 9 Préleveur haut débit	16
Figure 10 Mât météo dans l'enceinte de SGL Carbon	16
Figure 11 Comparaison des moyennes annuelles de PM10 (en haut) – Année 2020	17
Figure 12 Comparaison des moyennes annuelles de PM2,5 – Année 2020	18

Figure 13 Cartographie annuelle 2020 des particules PM10 .....	18
Figure 14 Cartographie annuelle 2020 des particules PM2,5 .....	19
Figure 15 Evolution des concentrations journalières en PM10- Année 2020 .....	19
Figure 16 Evolution des concentrations journalières en PM2,5 - Année 2020 .....	20
Figure 17 Comparaison des moyennes annuelles de Benzo(a)pyrène – Année 2020 .....	21
Figure 18 Représentation spatiale des concentrations moyennes de B(a)p mesurées .....	22
Figure 19 Cartographie régionale de la moyenne annuelle de B(a)P en 2020 – Zoom sur le secteur Sallanches-Passy .....	29
Figure 20 Evolution temporelle des concentrations de B(a)p sur le secteur Sallanches -Passy .....	30
Figure 21 Concentrations de B(a)P pendant la période de janvier à mars 2020 .....	23
Figure 22 Image de la webcam de Plaine de Joux le 23/01 à 12hTU .....	24
Figure 23 Concentrations de B(a)p du 23 au 26/01/2020 .....	24
Figure 24 concentrations de B(a)P le 23 janvier 2020 – représentation cartographique .....	25
Figure 25 Roses de pollution PM10 sur le secteur Sallanches-Passy .....	25
Figure 26 Concentrations de B(a)p le 23 février 2020 .....	26
Figure 27 Roses de pollution PM10 le 23 février 2020 .....	26
Figure 28 Concentrations de B(a)p le 7 février 2020 .....	27
Figure 29 Roses de pollution PM10 le 7 février 2020 .....	27
Figure 30 Concentrations de B(a)P le 16 février 2020 .....	28
Figure 31 Roses de pollution PM10 le 16 février 2020 .....	28
Figure 32 Profil moyen phase particulaire - Site de Chedde (à gauche) - Les Granges (à droite) .....	31
Figure 33 Profil moyen phase gazeuse - Site de Chedde (à gauche) - Les Granges (à droite) .....	32
Figure 34 Comparaison des moyennes annuelles des HAP particuliers communs aux 4 sites .....	33
Figure 35 Ratios des moyennes annuelles par rapport à la station de Passy .....	33
Figure 36 Profil des HAP particuliers sur différents sites du réseau de surveillance en Auvergne-Rhône-Alpes .....	34
Figure 37 Ratios de la concentration moyenne en « hiver » sur la concentration moyenne en « été » de benzo(a)pyrène sur différents sites de la région .....	35
Figure 38 Comparaison des moyennes annuelles de BNT(2,1) – Année 2020 .....	37
Figure 39 Evolution du BNT(2,1) en phase particulaire sur les sites de surveillance .....	38
Figure 40 Comparaison des concentrations BNT2,1 particulaire sur les sites Cités Jardins et Chedde .....	39
Figure 41 Concentrations de BNT(2,1) sur les différents sites lors des journées communes .....	39
Figure 42 Ratio entre les concentrations mensuelles de BNT(2,1) et de B(a)P sur les différents sites .....	40

# 1. Contexte

## Un secteur très sensible à la pollution particulaire

Le secteur de Sallanches-Passy est historiquement très impacté, notamment en période hivernale, par les particules PM10, en raison d'émissions importantes et surtout d'un confinement particulier des masses d'air en fond de vallée. En effet, comme indiqué dans la synthèse des connaissances sur la vallée de l'Arve effectuée par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes en 2018 (1), en termes d'émissions par habitant, pour les PM10 ou les NOx, un habitant de la vallée de l'Arve « émet » autant qu'un habitant de la Haute-Savoie et même un peu moins qu'un habitant d'Auvergne-Rhône-Alpes. En revanche, les conditions de dispersion particulières, avec un relief marqué, sont un facteur aggravant.

Le graphique suivant présente l'évolution des moyennes annuelles des stations urbaines sur le territoire de la Haute-Savoie. Même si une diminution importante est observable, le secteur de Passy-Sallanches présentait toujours en 2019 (au moment de la mise en place de cette étude) les moyennes annuelles les plus élevées. .



Figure 1 Moyennes annuelles PM10 sur le territoire de la Haute-Savoie

Par rapport au nombre de dépassements journaliers pour les PM10, la réglementation n'autorise pas plus de 35 jours dans l'année avec des valeurs supérieures à 50 µg/m³ en moyenne journalière (valeur limite journalière). Cette valeur a été dépassée sur la station de Passy jusqu'en 2016 (36 dépassements). En 2019, la valeur a été largement respectée avec 10 dépassements.

## Des substances également très présentes : les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

En parallèle de la problématique des particules, compte tenu des sources identifiées sur le territoire, notamment la combustion de biomasse et l'industrie, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a débuté la surveillance des concentrations de HAP en 2008 dans la vallée de l'Arve, et principalement celle du **benzo(a)pyrène (B(a)P)**, seul HAP soumis à une valeur cible réglementaire fixée à 1 ng/m³. D'autres HAP dont la surveillance est mentionnée dans la directive de 2004 sont également mesurés : le benzo(a)anthracène, le benzo(b)fluoranthène, le benzo(j)fluoranthène, le benzo(k)fluoranthène, l'indéno(1,2,3-cd)pyrène et le dibenzo(a,h)anthracène. Même si les concentrations sont en diminution régulière depuis 2008, **le site fixe de Passy était en dépassement de la valeur cible de 2008 à 2016**. En 2017 pour la première fois, puis en 2018,

selon les règles de statistiques (moyenne annuelle arrondie à l'entier et dépassement avéré si strictement supérieur à la valeur cible), **la moyenne annuelle en B(a)P n'a pas dépassé la valeur cible**. Cependant, les niveaux restent forts (entre 1 et 1,5 ng/m<sup>3</sup>). Parmi les sites faisant l'objet d'une surveillance pérenne du B(a)P en Auvergne-Rhône-Alpes, la station de Passy enregistre les niveaux les plus élevés. On peut remarquer dans le graphique suivant que les niveaux des agglomérations alpines (Grenoble, Annecy) sont supérieurs à ceux de l'agglomération lyonnaise. Le site de la Léchère en proximité industrielle dans la vallée de la Tarentaise présentait en 2019 une moyenne annuelle légèrement inférieure à celle de Sallanches.

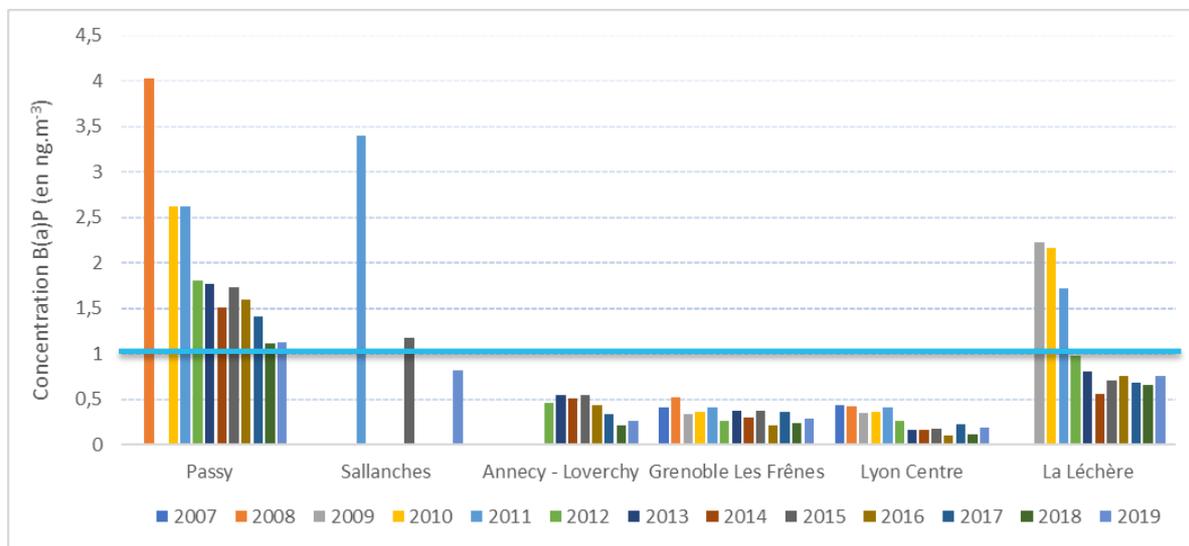


Figure 2 Moyennes annuelles de B(a)P sur différents sites de la région Auvergne-Rhône-Alpes depuis 2007

☞ **Malgré la baisse des niveaux de particules et de benzo(a)pyrène depuis plusieurs années, ces polluants de par leurs niveaux proches des valeurs cibles nécessitent une meilleure compréhension.**

## Un établissement industriel sous surveillance

La société SGL Carbon exploite un établissement spécialisé dans la fabrication de produits en graphites spéciaux, situé à un peu plus d'un kilomètre de la station de surveillance fixe de Passy. Cet établissement est un émetteur connu de particules et de HAP.

Selon les chiffres publiés par la société, les émissions ont toutefois nettement baissé ces dernières années (cf. Figure 3). Le tableau ci-dessous a été communiqué par SGL en mai 2021.

Polluants (en kg)	2017	2018	2019	2020	Réduction 2017-2020	Valeurs Limites (kg)
Poussières	6 904	4 573	1 380	977	- 86%	6 000
HAP	27,6	27	19,6	12,4	- 55%	33,5
BaP	0,200	0,253	0,287	0,263	+ 31,5%*	0,335
SO <sub>2</sub>	22 164	27319	9 483	9 764	- 56%	27 850
NO <sub>x</sub>	10 333	10 135	8 555	6 729	- 35%	29 200
HF	**	1 659	10	65	- 96% (depuis 2018)	2 000

Figure 3 Tableau d'émissions canalisées - Données SGL Carbon

Par arrêté préfectoral du 24 juillet 2019, l'établissement SGL Carbon de Passy, spécialisé dans la fabrication de produits en graphites spéciaux, est soumis à une obligation de surveillance de l'impact de l'installation sur l'environnement, a minima pour les particules et les HAP (dont le B(a)P) ainsi qu'un suivi des paramètres météorologiques pour une durée de 3 ans. La surveillance dans l'air ambiant a été réalisée en 2020 par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

## Un territoire complexe, de nombreuses études et toujours des interrogations

Compte tenu de l'observation de concentrations élevées de ces différents polluants, le territoire de la vallée de l'Arve, et particulièrement le secteur de Passy-Sallanches, a fait l'objet de nombreuses études et recherches visant à expliquer les concentrations mesurées. Les outils à disposition pour évaluer la qualité de l'air sont nombreux et variés :

- Les inventaires d'émissions des différentes sources. Cette méthode permet de calculer des contributions par secteur, d'étudier les évolutions annuelles. Toutefois elle présente certains inconvénients : elle est basée sur un certain nombre de facteurs théoriques, certaines sources ne sont pas ou très peu documentées.
- La modélisation de la dispersion des polluants. Cette méthode permet de calculer des concentrations résultantes à partir des émissions de polluant en tenant compte de leur dispersion. Dans ce secteur, la modélisation est très complexe compte tenu de l'aérodynamique particulière.
- La recherche et les mesures de « composés traceurs ». Cette méthode permet à partir des concentrations mesurées en un point d'estimer des contributions. Il existe peu de composés traceurs d'une seule source. Concernant la combustion de biomasse, un traceur, le levoglucosan, est couramment utilisé.

### Éléments issus de l'inventaire des émissions

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes travaille depuis de nombreuses années sur la réalisation d'inventaires spatialisés. Que ce soit pour les PM10 ou le benzo(a)pyrène, selon les estimations, **le secteur résidentiel/tertiaire, et notamment le chauffage au bois non performant, est de loin le plus fort contributeur aux émissions annuelles : 65% pour les PM10 et 82% pour le benzo(a)pyrène, à l'échelle de la communauté de communes du Pays du Mont-Blanc<sup>2</sup>, La contribution de l'industrie pour ces deux paramètres étant respectivement de 21% (particules) et 14% (B(a)P).** A l'échelle de la commune de Passy seule, le pourcentage de contribution de l'industrie aux émissions annuelles de B(a)P est plus élevée (environ 40%), la société SGL Carbon étant implantée sur cette commune.

A noter : ces données sont celles de l'inventaire de l'année 2018, selon le tableau transmis par SGL (cf. page précédente), les émissions 2020 sont inférieures, et par conséquent la contribution potentiellement moindre, en fonction de l'évolution des émissions des autres sources.

Attention : ce pourcentage n'est pas directement une contribution **aux concentrations** de ces polluants dans l'air.

---

<sup>2</sup> A l'échelle du département Haute-Savoie, la contribution du résidentiel est de 65% pour les PM10 et 87.6% pour le B(a)P

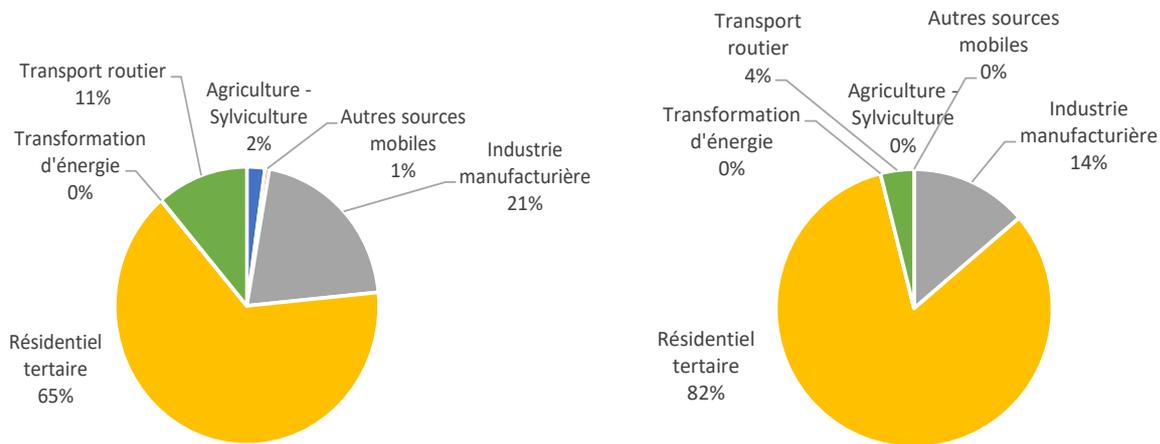


Figure 4 Contribution des différents secteurs d'activité aux émissions de PM10 (à gauche) et de B(a)P (à droite) sur le territoire de la CCPMB en 2018 (version Inventaire : ESPACE AuRA V2020 - v81)

### La communauté scientifique mobilisée

Les vallées alpines et particulièrement la vallée de l'Arve font l'objet depuis plusieurs années d'un intérêt fort de la communauté scientifique. Ces recherches ont permis d'enrichir la compréhension à la fois des sources et des processus influençant les niveaux de concentrations en particules. Parmi ces programmes, peuvent être cités le programme PART'AREA, le programme DECOMBIO et le programme CATOSI concernant les sources.

Dans le cadre du programme PART'AERA, les résultats ont permis de quantifier la contribution de la combustion de la biomasse. Lors de l'épisode de pollution de décembre 2013 notamment, il avait été montré que la combustion de biomasse représentait la contribution principale des PM10, responsable de plus de 60 % des concentrations (8% avaient pu être attribués au trafic routier). Le programme DECOMBIO a montré qu'en moyenne, **sur la période hivernale, la combustion du bois représente une source très importante, avec des contributions de l'ordre de 60 à 75 % aux concentrations de PM10 selon les sites**. La source « trafic » ne représente que 5 à 10 %, dans ces zones plus ou moins urbanisées (Chevrier, 2016).

Le programme CATOSI (CAractérisation de Traceurs Organiques de Sources Industrielles) a été coordonné par l'EDYTEM (ex LCME) autour d'un partenariat avec la société SGL Carbon et Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (ex. Air Rhône-Alpes). Les objectifs de ce programme étaient de **caractériser des signatures et des traceurs chimiques de certaines activités industrielles** et d'évaluer leur intégration aux études de l'influence des sources de particules et de HAP dans les vallées de l'Arve et de la Tarentaise.

Ces résultats ont montré qu'en période hivernale (de janvier à mars 2013) et en fond de vallée :

- La combustion du bois constitue la source majoritaire de particules PM10, avec une valeur moyenne de 54% dans le fond de la vallée de l'Arve.
- La contribution du trafic (émissions véhiculaires directes) est faible (4% en moyenne). De même que la contribution du sel de route (2% en moyenne).
- La source « industrie du carbone » apparaît bien dans la déconvolution, mais avec une contribution d'environ 6% des concentrations PM10. Des composés traceurs de l'activité industrielle ont pu être définis.
- Des contributions importantes de composés organiques secondaires (sulfate, nitrate et ammonium) sont également mis en évidence par le modèle (presque 20%).
- Enfin, les proportions de sources de composés organiques non identifiées par la méthode avoisine les 12% de la masse totale des PM10.

Ces programmes de recherche se sont majoritairement intéressés aux contributions des différents secteurs aux particules PM10 en montrant l'impact important de la combustion du bois. Ils ne s'adressaient pas directement aux contributions liées aux concentrations de benzo(a)pyrène. Ces études datent maintenant de plus de 5 ans.

## Des mesures renforcées en 2020 pour aller plus loin

Ainsi, en parallèle de la mise en œuvre de la surveillance en air ambiant imposée dans le cadre de l'arrêté préfectoral de SGL Carbon, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a souhaité compléter le dispositif de mesures en 2020 afin d'améliorer les connaissances sur **la répartition spatiale des particules et du benzo(a)pyrène** sur le secteur de Passy-Sallanches et **de mieux comprendre les concentrations élevées et la contribution des sources**, notamment aux concentrations de benzo(a)pyrène observées sur la station de Passy. Pour cela, un partenariat a également été établi avec l'EDYTEM, afin de mener une étude commune d'amélioration des connaissances de la chimie des PM10 sur une période d'observation limitée durant l'hiver.

Ce rapport présente les résultats de l'étude complète. La méthodologie détaillée de l'ensemble de l'étude est décrite dans le premier chapitre, le second chapitre présente les résultats en traitant en premier lieu de la spatialisation des concentrations puis de la contribution des sources. Enfin, le dernier chapitre synthétise les conclusions et perspectives, notamment en termes de surveillance du secteur. Un premier rapport spécifique à la surveillance réglementaire de l'industriel a été publié par Atmo-Auvergne-Rhône-Alpes en mai 2021 concernant le bilan détaillé des résultats de cette surveillance.

# 2. Méthodologie

## 2.1 Les sites de mesure

Pour cette étude, le déploiement de quatre sites temporaires de mesures a été réalisé (Figure 5). Deux d'entre eux ont été installés dans le cadre de la surveillance réglementaire de SGL CARBON, les emplacements retenus sont les suivants :

- Un site sous influence industrielle à Chedde : rue Paul Corbin, dénommé par la suite « **Passy-Chedde** »
- Un site de fond situé au lieu-dit « Les Granges de Passy », 670, chemin des Vrelets, dénommé par la suite « **Passy – Les Granges** »

Il faut noter que le site sous influence industrielle a été choisi au plus près de la localisation préconisée dans l'arrêté de surveillance (cf. annexe 1), en prenant en compte les contraintes de faisabilité technique, notamment la nécessité de disposer d'une alimentation électrique en continu.

Deux autres sites ont été instrumentés durant les mois de janvier à mars 2020, pour affiner encore les connaissances sur la répartition spatiale de B(a)P dans la vallée :

- Un deuxième site potentiellement sous influence industrielle, à proximité de la salle « **Les Cités Jardin** », avenue du Mont-Blanc. Cet emplacement, situé à quasi-équidistance de SGL par rapport au site de Chedde, doit permettre d'appréhender l'influence du site industriel dans différentes directions.
- Un site hors influence situé sur le « **Plateau d'Assy** », rue de l'église. Ce site domine le fond de la vallée, il se situe à un peu moins de 1000 mètres d'altitude.

Cette étude s'appuie également sur les stations urbaines du réseau de mesures fixes qui serviront de référence : « **Passy** » et « **Sallanches** ».

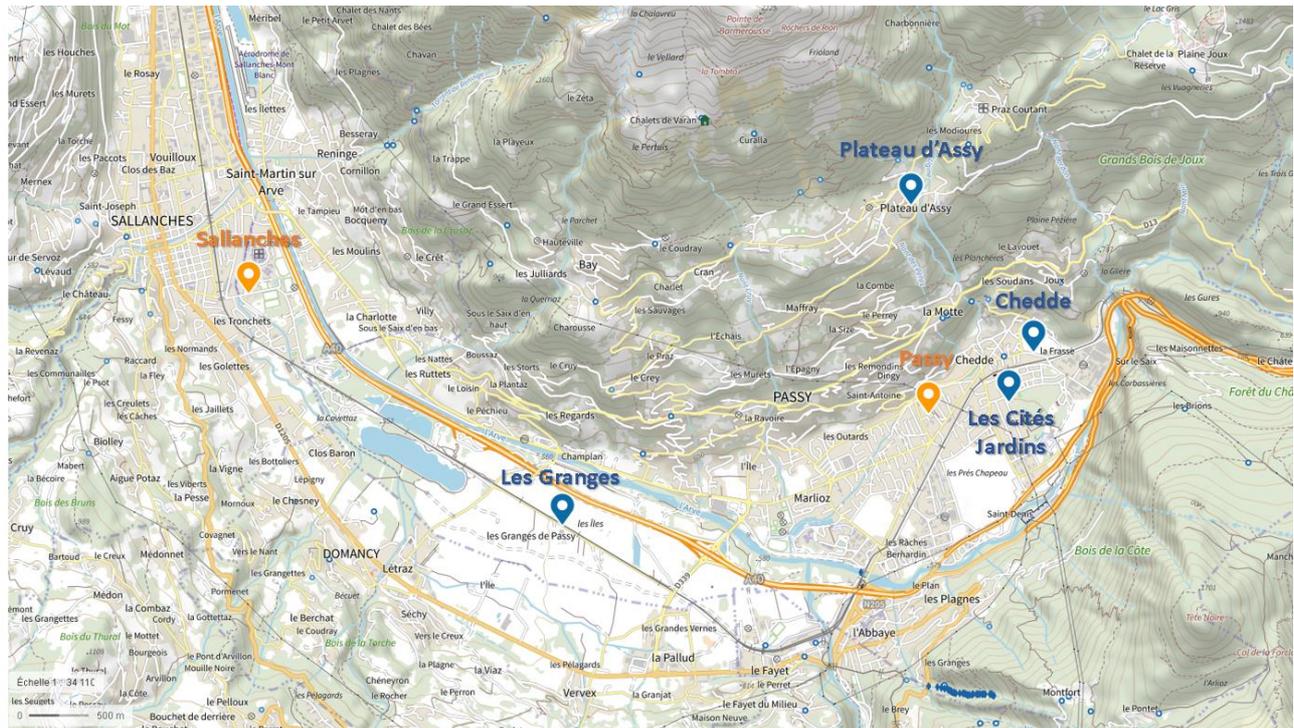


Figure 5 Carte des sites d'étude

## 2.2 Composés analysés

La mesure des **particules** réalisée dans le cadre de la surveillance réglementaire de SGL comprend celle des **PM10 et des PM2,5**. Ces deux composés sont également mesurés sur la station urbaine de Passy, la station Sallanches n'est équipée que de la mesure PM10.

**Concernant les HAP**, 17 composés, comprenant le benzo(a)pyrène, ont été analysés sur les sites liés à la surveillance de SGL CARBON, cette liste est spécifiée dans l'arrêté préfectoral de surveillance :

- Benzo(a)pyrène
- Fluoranthène
- Dibenzo(a,c+a,h)anthracène
- Benzo(a)anthracène
- Benzo(b+j)fluoranthène
- Benzo(k)fluoranthène
- Indéno(1,2,3-cd)pyrène
- Benzo(g,h,i)pérylène
- Naphtalène
- Acénaphtylène
- Acénaphène
- Fluorène
- Phénanthrène
- Anthracène
- Pyrène
- Chrysène
- Benzo(b)naphto(2,1-d)thiophène

Les concentrations inférieures à la limite de quantification (LQ) sont, conformément aux directives réglementaires, prises égales à LQ/2 dans le calcul des moyennes annuelles.

Sur les sites Passy-Chedde et Passy-Les Granges, mis en place pour la surveillance réglementaire de l'industriel, les analyses ont été effectuées **sur filtre et mousse**, c'est-à-dire en phase particulaire et en phase gazeuse,

comme spécifié dans l'arrêté préfectoral. Sur les autres sites, seule la phase particulaire a été prélevée et analysée.

La station urbaine de Passy fait partie du dispositif de surveillance réglementaire régional, les HAP mesurés sont ceux cités dans la directive européenne :

- Dibenzo(a,h)anthracène
- Benzo(a)anthracène
- Benzo(b)fluoranthène
- Benzo(j)fluoranthène
- Benzo(k)fluoranthène
- Indéno(1,2,3-cd)pyrène
- Benzo(g,h,i)pérylène
- Chrysène

Les prélèvements ont lieu **sur filtre uniquement, pour quantifier les HAP dans la phase particulaire**, comme préconisé dans la directive.

Le **benzo(b)naphto(2,1-d)thiophène**, qui avait été identifié comme un indicateur spécifique de l'activité industrielle de SGL CARBON en 2014, a été analysé sur les sites de surveillance de SGL (Passy-Chedde et Passy – Les Granges), et sur tous les sites complémentaires (Cités jardins, Plateau d'Assy, Sallanches). Seule la station urbaine de Passy n'a pas pu faire l'objet d'analyses, car l'analyse du BNT2,1 aurait impliqué un changement de laboratoire, ce qui n'était pas souhaitable pour ces analyses pérennes utilisées pour vérifier le respect des normes européennes.

## 2.3 Matériel

Les appareils de mesures des **particules en suspension** ont été déployés dans des laboratoires mobiles (Figure 6). Les mesures ont été faites en continu par des analyseurs automatiques de marque Rupprecht & Patashnick (TEOM), qui délivrent des mesures quart-horaires, agrégées en moyennes horaires et journalières à des fins d'exploitation des données, de conformité aux exigences de la réglementation sur la qualité de l'air ambiant, et pour comparaison aux valeurs de référence.



Figure 6 Laboratoires mobiles utilisés pour l'étude

Les prélèvements de HAP ont été effectués par des préleveurs haut-débit (Digitel DA80), conformément aux prescriptions nationales. Ces appareils ont, quant à eux, été installés en extérieur (Figure 7). Les mesures délivrées, après analyse en laboratoire, sont des concentrations journalières.



Figure 7 Préleveur haut débit

Afin d'aider à l'interprétation des résultats, un mât météorologique de 10m a été installé sur le site SGL (Figure 8). Il est équipé des mesures suivantes :

- Direction et force du vent (vitesse)
- Température
- Pression atmosphérique
- Humidité
- Pluviométrie

Ces mesures viennent en complément du réseau de mesures météorologiques dont dispose Atmo Auvergne-Rhône-Alpes dans le secteur.



Figure 8 Mât météo dans l'enceinte de SGL Carbon

# 3. Résultats

Cette étude, programmée en 2019, s'est déroulée en 2020 dans le contexte particulier de la crise sanitaire liée à l'épidémie de COVID19. L'analyse des données 2020 à l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes a permis de montrer l'impact particulier sur les concentrations d'oxydes d'azote de l'année 2020, avec des niveaux de manière générale inférieurs aux années précédentes. En revanche, en ce qui concerne les particules en suspension, il n'y a pas eu d'effet manifeste. Les mesures réalisées sur les sites complémentaires en début d'année ont été réalisées juste avant le premier confinement en mars 2020.

## 3.1. Répartition spatiale et temporelle des particules en suspension

### 3.1.1 Répartition spatiale

Des campagnes de mesures ponctuelles ont déjà été réalisées les années précédentes. En 2020, l'ajout de deux stations mesurant **en continu** les PM10 et les PM2,5 sur la commune de Passy permet de bien documenter la répartition spatiale.

Du point de vue réglementaire, **les niveaux moyens de PM10 sont restés largement en dessous de la valeur limite annuelle et de l'objectif de qualité** (cf.

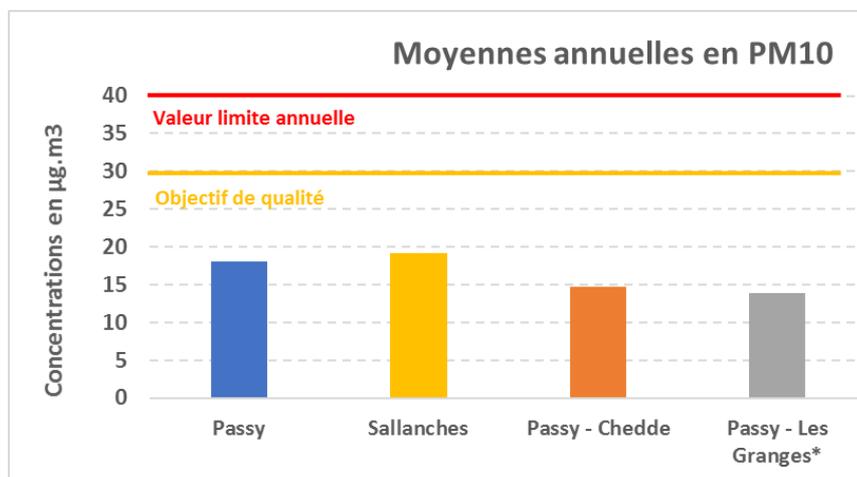


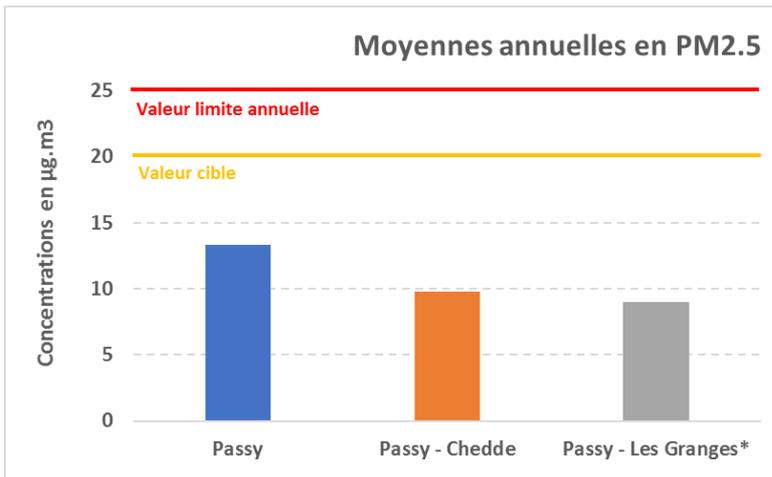
Figure 9).

Il est intéressant de noter que le site de proximité industrielle, Passy-Chedde, et le site de fond, Passy-Les Granges, ont des niveaux sensiblement équivalents et inférieurs à ceux des stations fixes de Passy et Sallanches, situées en zone plus urbaine.

En 2020, pour la première année, la moyenne annuelle de Sallanches est très légèrement supérieure à celle de la station de Passy.

Figure 9 Comparaison des moyennes annuelles de PM10 (en haut) – Année 2020

De même, le nombre de dépassements du seuil de la valeur limite journalière ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a été faible sur tous les sites et nettement en dessous de la valeur limite de 35 dépassements par an. La plupart des dépassements ont eu lieu au mois de janvier 2020 (7/10 pour la station de Passy),



Concernant les PM2,5, le constat est identique (Figure 10). **La moyenne relevée à la station fixe de Passy est supérieure à celle des sites de proximité industrielle et de fond.**

Il n’y a pas de mesures PM2,5 à Sallanches.

Figure 10 Comparaison des moyennes annuelles de PM2,5 – Année 2020

Concernant **les particules PM10 et PM2,5**, il apparaît que **les niveaux moyens annuels sont plutôt homogènes sur la zone Sallanches – Passy** avec toutefois des niveaux légèrement supérieurs sur les stations fixes situées en zone plus urbaine. Le site de proximité industrielle présente ainsi des niveaux inférieurs au fond urbain de Passy. Bien que l’activité de SGL CARBON contribue aux émissions de particules en suspension, l’impact des autres sources, notamment du chauffage résidentiel, semble donc prépondérant sur les valeurs annuelles.

Les mesures réalisées dans le cadre de l’étude ont pu être utilisées pour la réalisation des cartographies annuelles régionales. A l’échelle annuelle, la répartition spatiale des particules en suspension PM10 est assez homogène entre Sallanches et Passy (Figure 11). Le fond de vallée apparaît plus impacté que les zones situées plus en altitude.

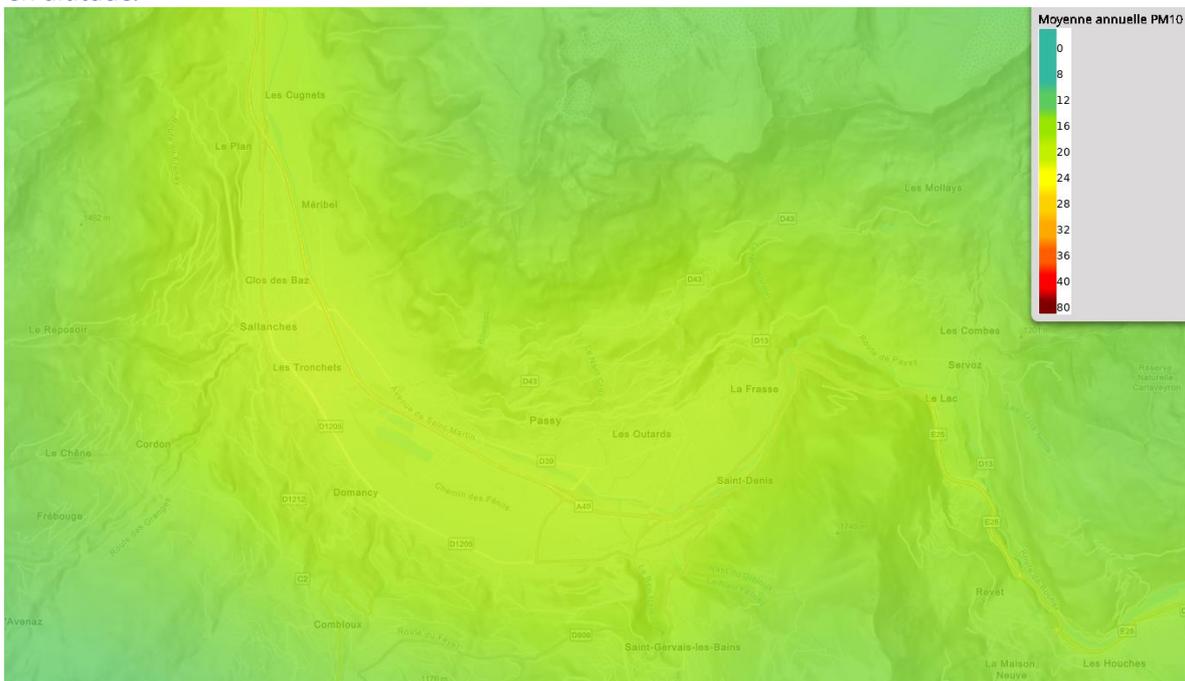


Figure 11 Cartographie annuelle 2020 des particules PM10

Ce contraste est plus marqué pour les PM2,5 (Figure 12), dont les concentrations sont rapidement proches de zéro à mesure que l’on s’élève. De plus, on constate une augmentation graduelle de Sallanches à Passy. Néanmoins, cette augmentation est faible et l’absence de données mesurées à Sallanches en PM2,5 peut engendrer une moins bonne précision de la cartographie sur ce secteur.

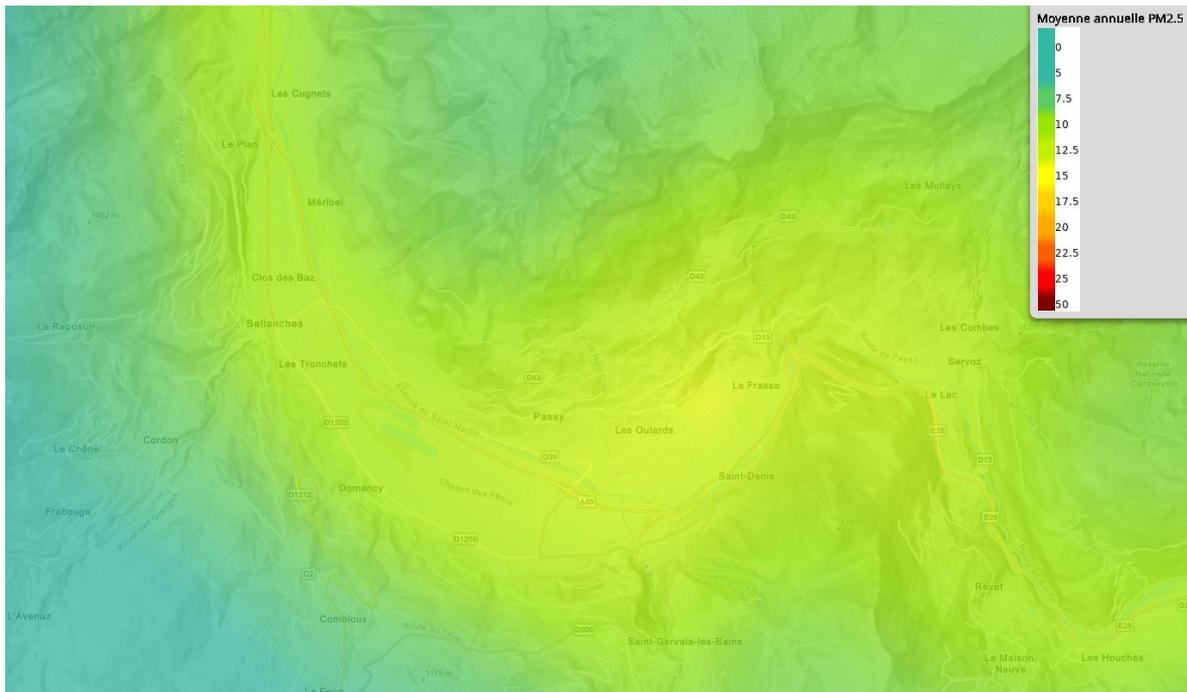


Figure 12 Cartographie annuelle 2020 des particules PM2,5

### 3.1.2 Evolution temporelle

En suivant l'évolution des concentrations journalières de PM10 sur les différents sites, on constate une assez bonne homogénéité globale des niveaux (Figure 13). De mai à octobre, lorsque le chauffage est le moins utilisé, les concentrations sont souvent similaires sur tous les sites. A titre d'exemple, du 1<sup>er</sup> mai au 1<sup>er</sup> octobre 2020, la concentration moyenne de PM10 a été de 10,7 µg/m<sup>3</sup> à St Germain-sur-Rhône (site considéré comme rural), 11,9 µg/m<sup>3</sup> à Chedde, 11,7 µg/m<sup>3</sup> à Passy et 10,5 µg/m<sup>3</sup> aux Granges. Ainsi en période estivale, les niveaux de PM10 dans l'Arve sont équivalents au niveau de fond régional.

Des différences significatives apparaissent en revanche en saison froide, de novembre à mars. Durant ces mois, les concentrations en milieu résidentiel (Passy et Sallanches) sont régulièrement significativement supérieures aux sites d'étude, au voisinage de SGL Carbon ou en secteur hors influence. Ce fut particulièrement le cas lors de deux épisodes de pollution aux particules : du 22 au 26 janvier et du 25 au 28 novembre.

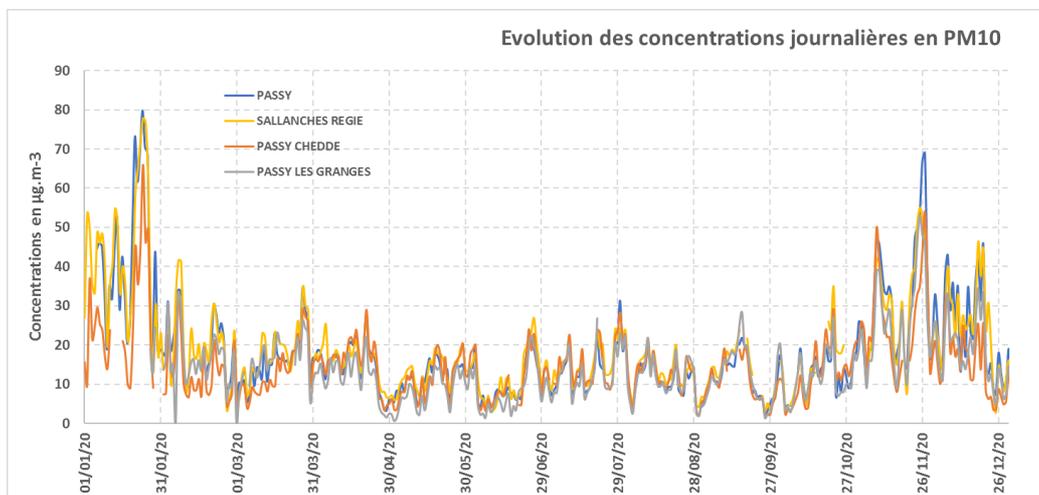


Figure 13 Evolution des concentrations journalières en PM10- Année 2020

Le constat est le même concernant les PM<sub>2,5</sub> (Figure 14), les différences entre sites apparaissant en période froide. Hors saison de chauffage, les trois sites présentent des niveaux très bas et similaires au fond régional. L'amplitude entre la période hivernale et la période estivale est plus marquée pour les particules les plus fines, ceci est cohérent avec les inventaires d'émission qui montrent que la contribution du chauffage au bois est plus importante pour les particules PM<sub>2,5</sub> que les particules PM<sub>10</sub>.

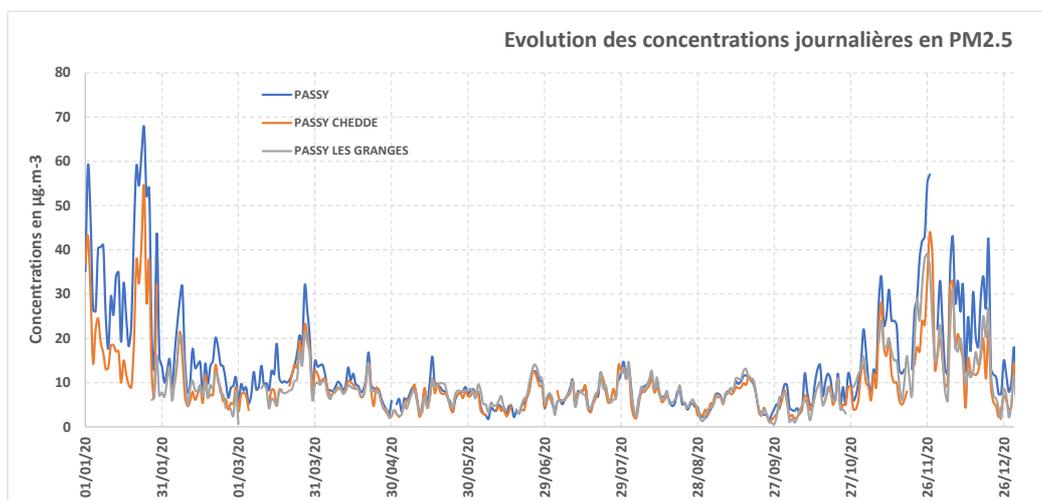


Figure 14 Evolution des concentrations journalières en PM<sub>2,5</sub> - Année 2020

A l'échelle de la journée, les concentrations de PM<sub>2,5</sub> montrent fréquemment des pics très importants entre 22 h et minuit en hiver. Ces pics sont corrélés avec des pics de particules primaires liées à la combustion de biomasse estimés par l'analyseur AE33<sup>3</sup>. Un autre pic a généralement lieu en fin de matinée. La Figure 15 présente un exemple en novembre 2020.

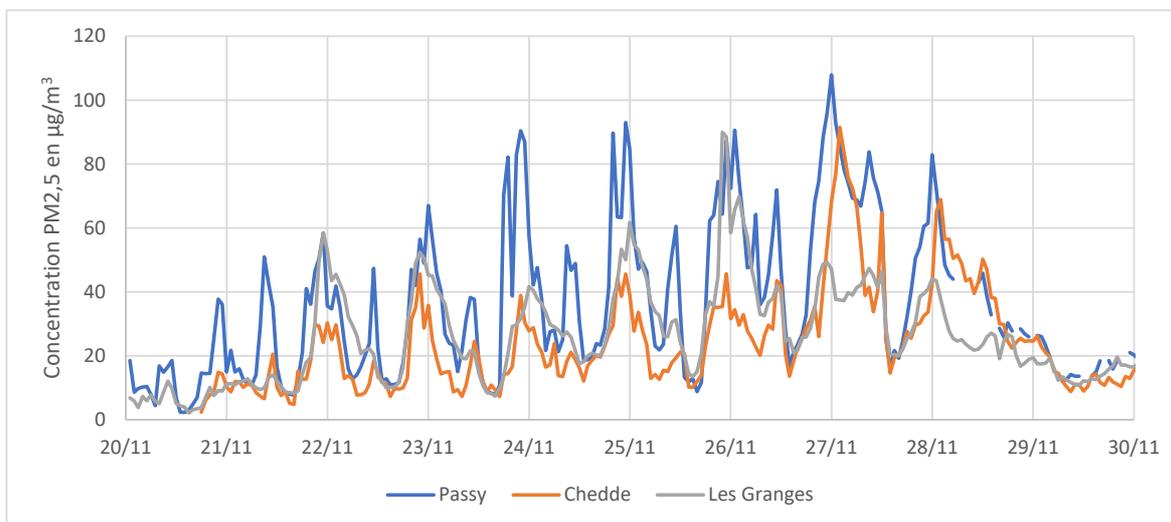


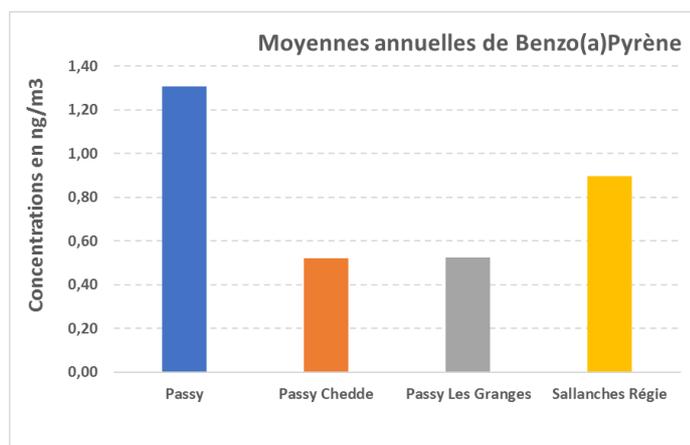
Figure 15 Evolution horaire des PM<sub>2,5</sub> sur les 3 sites de mesures de Passy

<sup>3</sup> L'AE33 est un aethalomètre, cet appareil utilise les propriétés optiques du carbone suie. Le principe de mesure repose sur l'atténuation de l'intensité d'un faisceau lumineux à travers un échantillon de poussières atmosphériques déposées sur un filtre. L'appareil AE33 mesure les propriétés d'absorption des aérosols sur 7 longueurs d'ondes de l'ultraviolet au proche infrarouge. La dépendance spectrale du coefficient d'absorption massique permet de distinguer deux fractions du carbone suie : « biomasse » et « fuel fossile ». Cet appareil permet ainsi d'estimation des concentrations de particules liées à la combustion de biomasse (BCwb) et liés à celle des dérivés du pétrole.

## 3.2 Répartition spatiale et temporelle du Benzo(a)pyrène

### 3.2.1 Répartition spatiale annuelle

La Figure 16 présente les moyennes annuelles sur les quatre sites de mesures en continu : les deux stations de surveillance du réseau d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (Passy, Sallanches) et les deux stations mises en œuvre pour la surveillance réglementaire. Afin d'avoir des résultats comparables, seuls les résultats dans la phase particulaire ont été pris pour les sites de la surveillance liée à SGL. A noter que le B(a)P n'a été quantifié dans la phase gazeuse qu'à de très rares exceptions, conformément aux références bibliographiques indiquant que ce composé est quasi uniquement particulaire.



D'un point de vue réglementaire, le B(a)P dispose d'une valeur cible fixée à 1 ng/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle (Figure 16). Le site fixe de Passy, en proximité résidentielle, est le seul se situant au-dessus de ce seuil<sup>4</sup> en 2020.

Figure 16 Comparaison des moyennes annuelles de Benzo(a)pyrène – Année 2020

En première approche, le secteur résidentiel de Passy apparaît ainsi comme un secteur sensible dans la vallée. Le fait que le site de Chedde, géographiquement proche (1km), enregistre une moyenne sensiblement plus faible laisse à penser que la zone concernée par ce dépassement réglementaire est peu étendue. La moyenne annuelle de B(a)P à Sallanches est inférieure à la station de Passy mais supérieure à celles enregistrées sur les sites de Les Granges et Chedde. Elle se rapproche de la valeur cible, tout en restant inférieure.

<sup>4</sup> La moyenne annuelle de B(a)P pour la comparaison à la valeur cible est arrondi à l'entier, ainsi la moyenne annuelle de Passy est rapportée à 1 ng.m<sup>-3</sup> pour le reporting européen.

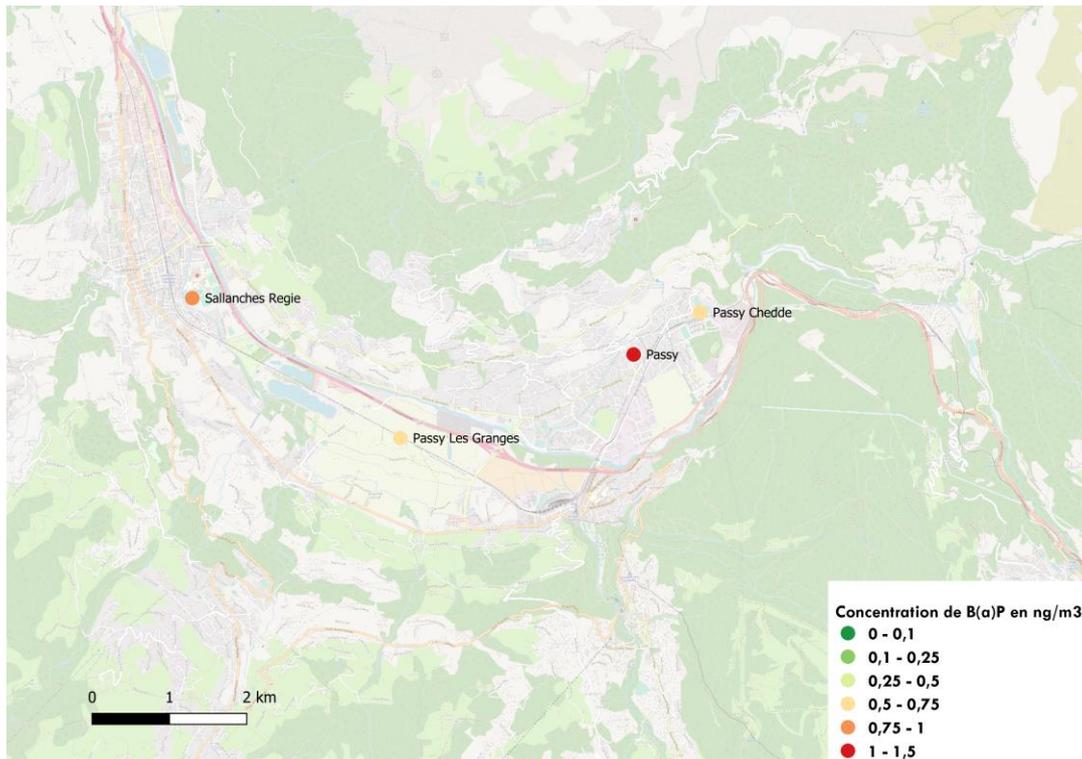


Figure 17 Représentation spatiale des concentrations moyennes de B(a)p mesurées

### 3.2.2 Analyse de journées particulières en période froide

Afin d'avoir une vision plus précise de la répartition géographique du B(a)P et de sa dynamique au cours du temps, il convient de regarder les concentrations mesurées à l'échelle journalière. Nous allons nous concentrer sur **la période du 23 janvier au 14 mars 2020**, durant laquelle les sites complémentaires étaient en fonctionnement. C'est également la période durant laquelle les concentrations relevées sont les plus élevées (pour rappel, la vallée de l'Arve était concernée par un épisode de pollution du 23 au 26 janvier 2020).

Un premier examen des résultats révèle une très grande variabilité journalière sur les sites de Passy, Sallanches, Cités Jardins et Passy-Chedde (Figure 18). Pendant l'épisode de pollution, la concentration journalière de benzo(a)pyrène à Passy est proche de  $10 \text{ ng/m}^3$ . Concernant le site de Passy-Les Granges, il est difficile d'en juger car les mesures ne sont disponibles qu'après le 7 février donc après l'épisode de pollution. Enfin, le site du Plateau d'Assy est clairement à part : les niveaux sont restés très bas durant toute la durée de l'investigation ce qui corrobore le fait que la pollution particulaire se concentre dans le fond de vallée.

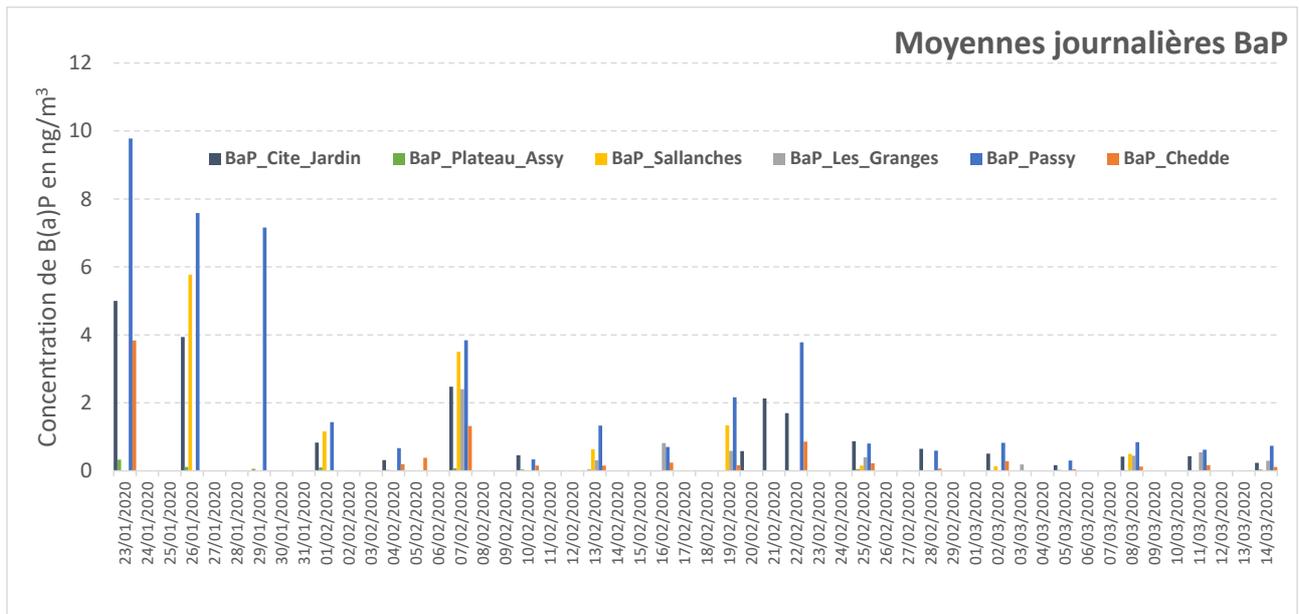


Figure 18 Concentrations de B(a)P pendant la période de janvier à mars 2020

Plusieurs dates attirent l'attention pour différentes raisons et vont être examinées plus en détails :

- Du 23 au 26 janvier, durant l'épisode de pollution. Les concentrations mesurées sont maximales et des différences notables apparaissent, notamment entre Chedde et Passy.
- Le 1<sup>er</sup> février, le site de Sallanches a des niveaux plus élevés que le site de proximité industrielle Cités Jardin.
- Le 7 février, le niveau mesuré sur le site de Chedde est nettement inférieur aux autres, à l'exception de Plateau d'Assy.
- Le 16 février, les concentrations sont équivalentes aux Granges et à Passy.

### Focus sur l'épisode de pollution du 21 au 26 janvier

L'épisode a débuté le 21 janvier, avec des premiers dépassements de seuils observés en vallée de l'Arve. Les conditions météorologiques étaient particulièrement favorables aux inversions de températures avec des journées très fraîches, sans aucun vent, et plutôt ensoleillées. Ces conditions se sont maintenues jusqu'au 25 janvier, quand la situation atmosphérique devint moins anticyclonique. Toutefois, le 26 janvier, les inversions se maintenaient encore un peu en journée.

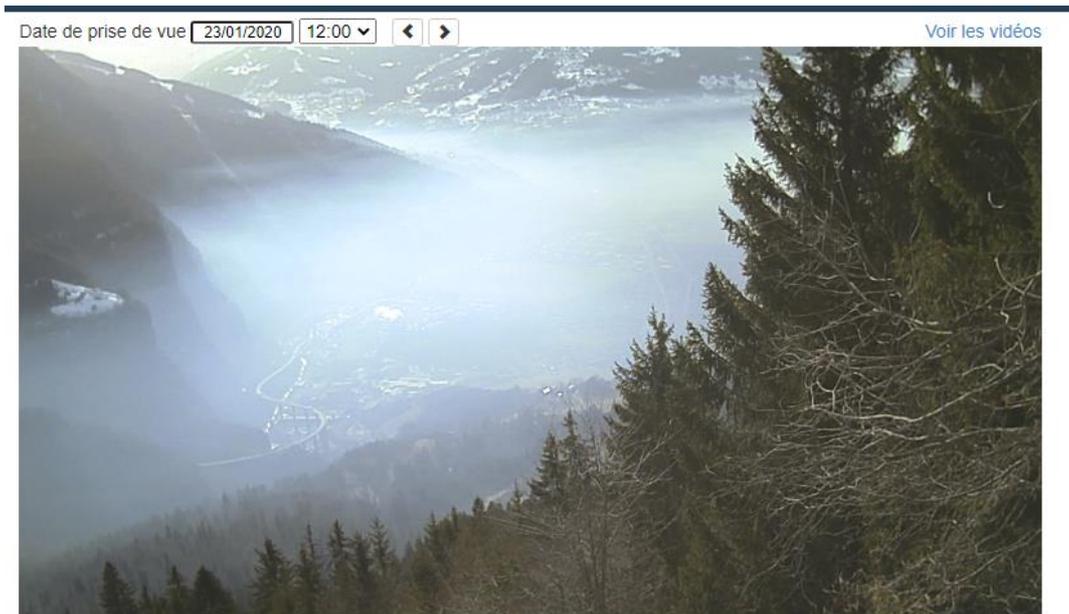


Figure 19 Image de la webcam de Plaine de Joux le 23 janvier 2020 à 12hTU

Ce sont les sites de Passy (les 23 et 26) et de Sallanches (le 26) qui ont relevé les concentrations les plus élevées (Figure 20 et Figure 21). Il est intéressant de constater que les sites de proximité industrielle présentent des niveaux bien inférieurs et ce même au plus fort de l'épisode. Il semblerait donc que la contribution du chauffage résidentiel soit prépondérante.

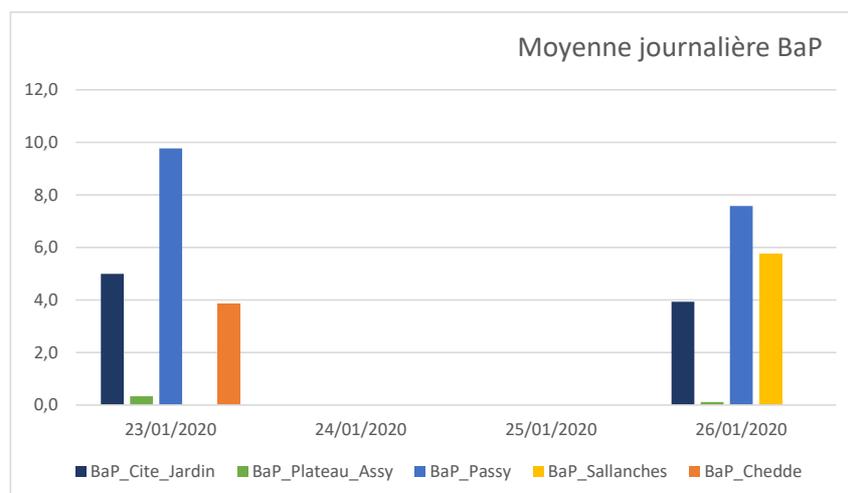
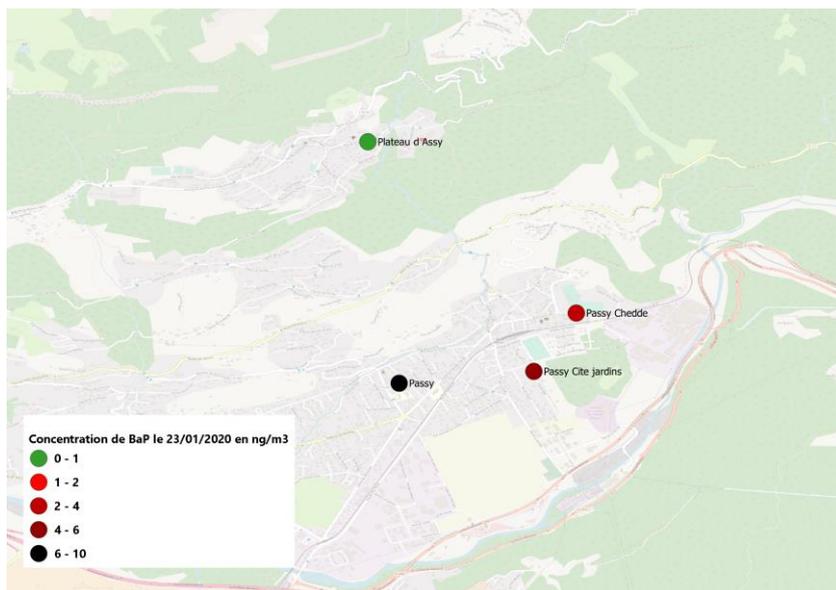


Figure 20 Concentrations de B(a)p du 23 au 26 janvier 2020



La carte ci-contre montre que l'extrémité est de la vallée est particulièrement touchée lors de la journée d'épisode de pollution du 23 janvier, les 3 sites présentant des concentrations supérieures à 4 ng/m<sup>3</sup>. Les écarts de concentrations sont cependant très importants entre la proximité industrielle et la zone résidentielle.

**Le plateau d'Assy, à environ 1000 mètres d'altitude, présente une concentration de B(a)P très faible, inférieure à 0,5 ng/m<sup>3</sup>, soit 30 fois inférieure à la valeur observée à Passy.** La concentration mesurée à Plateau d'Assy (de 0,33 ng/m<sup>3</sup>) est la plus élevée de la série de mesures sur ce site (du 23/01 au 14/03).

Figure 21 Concentrations de B(a)P le 23 janvier 2020 – représentation cartographique

La carte suivante présente les roses de pollution de particules en suspension sur les trois sites équipés d'analyseurs de particules durant cet épisode (Figure 22). L'annexe 3 donne des explications sur les roses de pollution. Il apparaît que sur le secteur de Sallanches, la majorité de la pollution particulaire (comprenant donc les HAP particuliers) provient du quart est-sud-est. Concernant la station de Passy, le secteur nord semble être la source prépondérante. Enfin, sur le site de Chedde, il est plus difficile de voir une direction privilégiée même si le sud et l'est présentent des concentrations légèrement plus élevées, par vent faible.

D'un point de vue aérologique, il faut noter que les vents étaient tournants et faibles durant cette période, induisant un brassage interne à la vallée rendant plus difficile l'identification de sources précises. Globalement, lors d'inversions de températures dans la vallée, il n'y a pas ou peu d'échanges de masses d'air avec l'extérieur et la pollution provient quasi exclusivement de sources locales (la rose de pollution de Sallanches, indiquant une provenance de la pollution depuis Passy est particulièrement éclairante sur ce point).

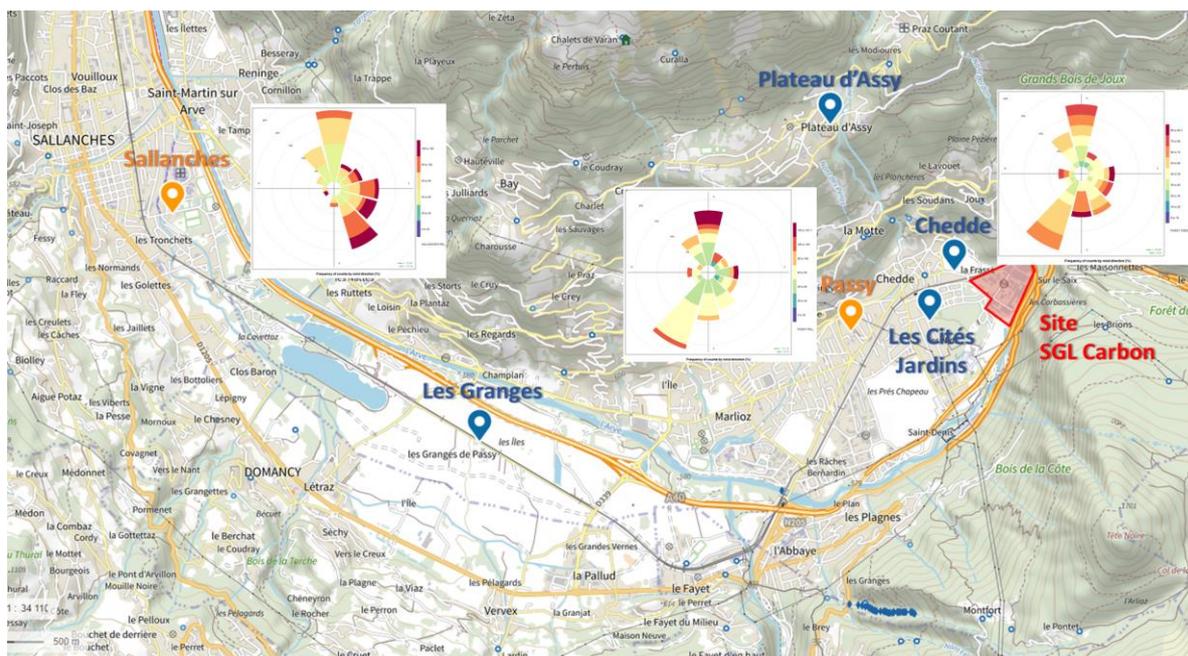
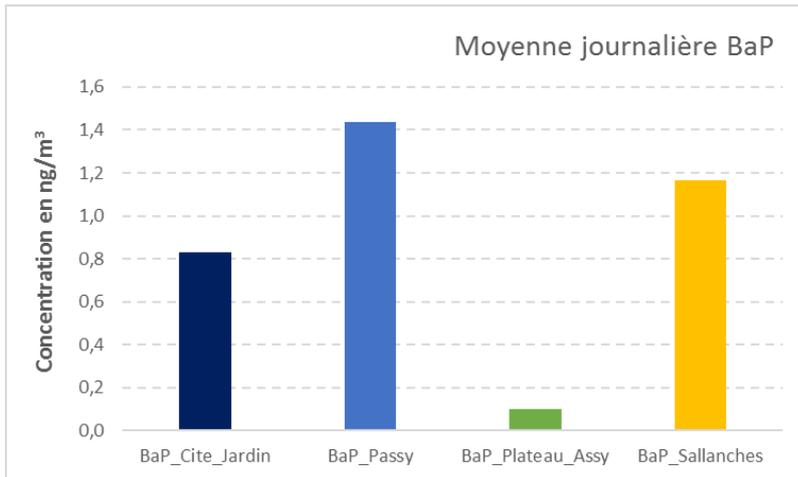


Figure 22 Roses de pollution PM10 sur le secteur Sallanches-Passy

## Focus sur le 1<sup>er</sup> février



Les concentrations relevées en zone résidentielle (Sallanches et Passy) sont relativement proches et encore une fois supérieures à la proximité industrielle (Figure 23).

NB : Pas de données disponibles sur Chedde et les Granges ce jour là

Figure 23 Concentrations de B(a)p le 1<sup>er</sup> février 2020

Cette journée, bien que présentant des concentrations plus faibles que durant l'épisode de fin janvier (maximum à 1,4ng/m<sup>3</sup> à Passy contre 10 ng/m<sup>3</sup> le 23 janvier), est intéressante dans la mesure où toutes les roses de pollution indiquent des directions claires concernant les sources principales de particules (Figure 24). Ainsi, les données météorologiques indiquent un écoulement préférentiel de la masse d'air, et par conséquent des polluants émis, vers le bas de la vallée. Dans cette hypothèse, le site de Sallanches se trouve soumis aux masses d'air polluées issues de l'amont de la vallée et est donc le réceptacle des sources de pollution du secteur, ce qui pourrait expliquer les niveaux relativement hauts relevés.

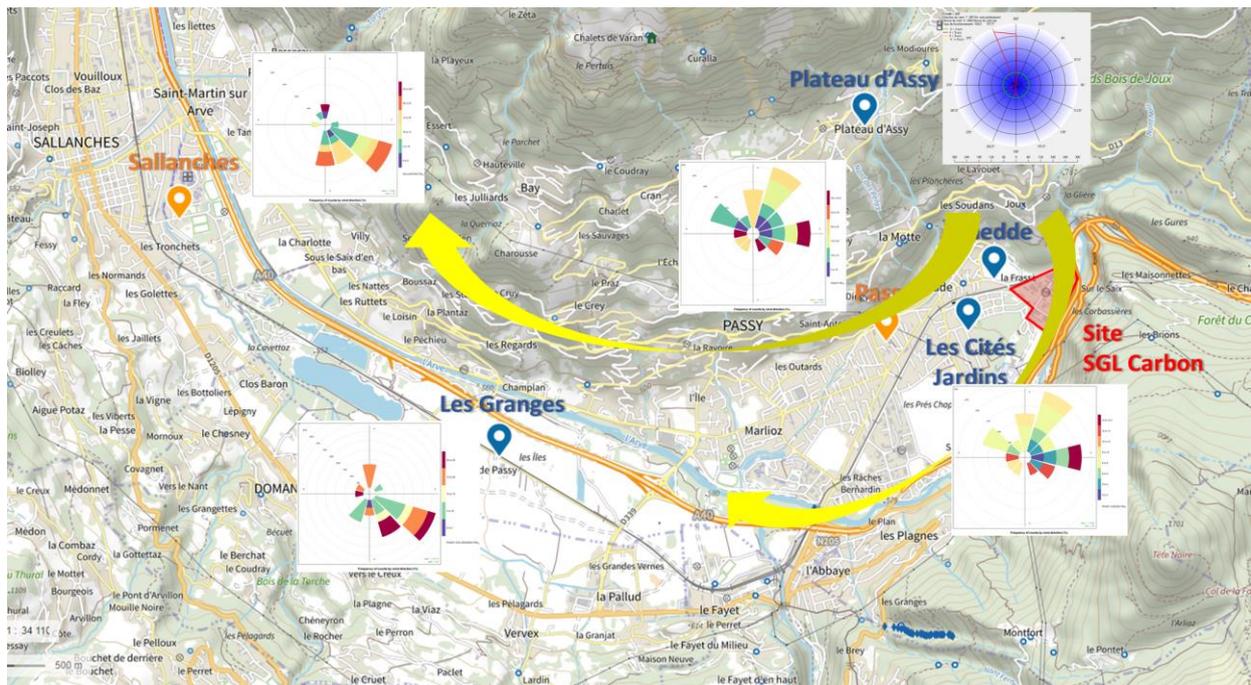
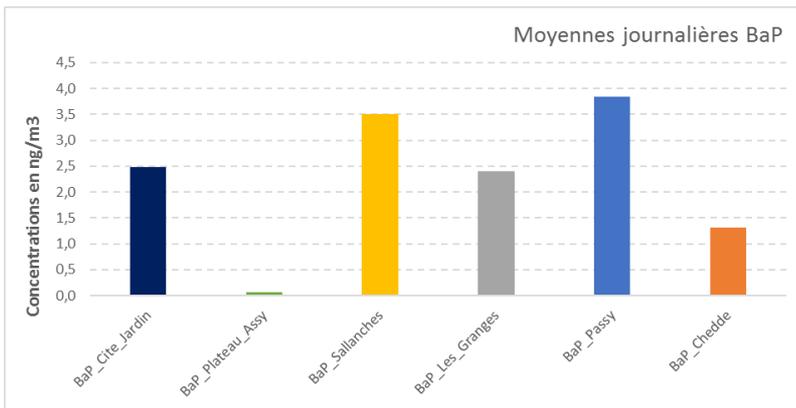


Figure 24 Roses de pollution PM10 le 1<sup>er</sup> février 2020

## Focus sur le 7 février



Durant cette journée, les concentrations en proximité industrielle sont inférieures au fond résidentiel et au fond hors influence dans le cas de Chedde (Figure 25).

Figure 25 Concentrations de B(a)P le 7 février 2020

Les roses des vents et de pollution indiquent une fois encore un écoulement préférentiel vers le bas de la vallée (Figure 26). Cela pourrait expliquer la concentration en B(a)P relativement haute relevée aux Granges. D'un autre côté, les différences importantes relevées sur les 3 sites géographiquement proches (Passy, Chedde et Cités Jardin) suggèrent également des sources proches et une influence majeure de l'aérodologie à une échelle locale.

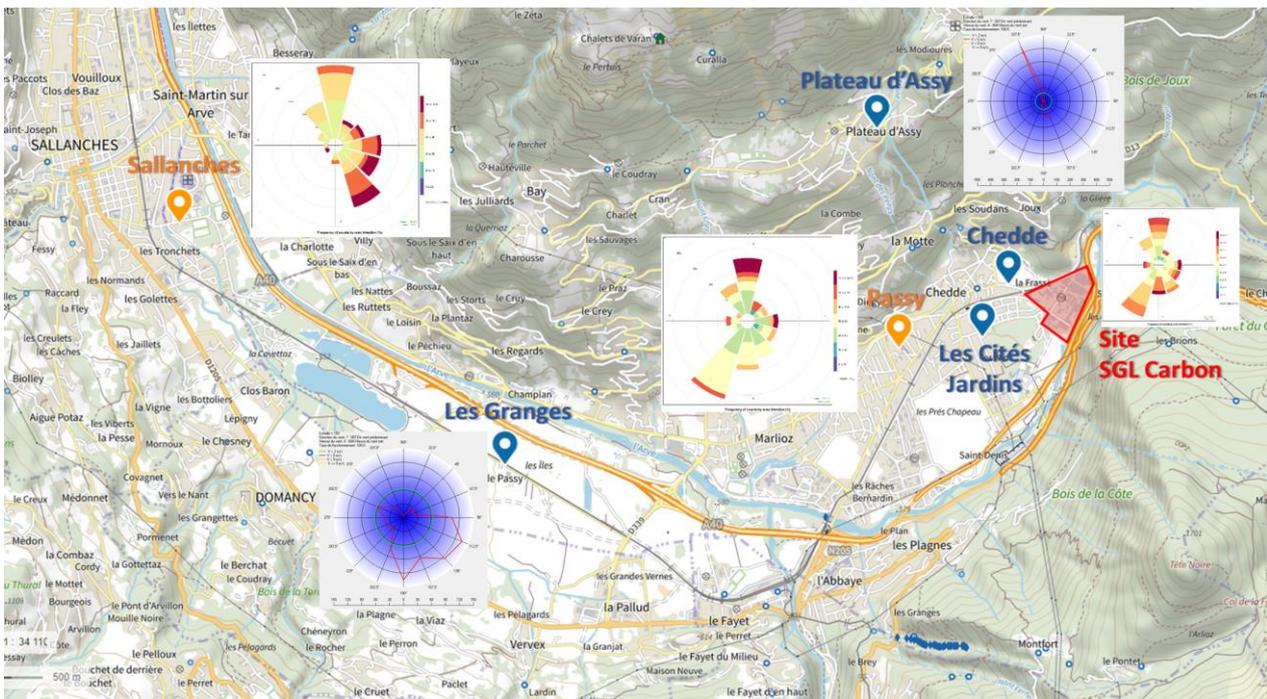
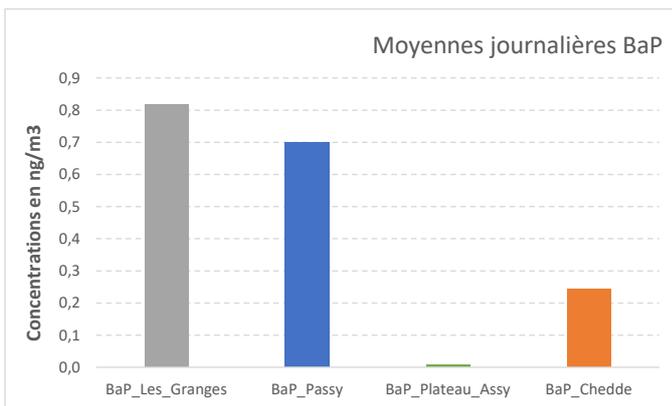


Figure 26 Roses de pollution PM10 le 7 février 2020

## Focus sur le 16 février



La journée du 16 février est particulière puisque la concentration relevée en fond hors influence est supérieure à celle de Passy (Figure 27). Il faut préciser que les concentrations étaient relativement faibles ce jour-là.

Figure 27 Concentrations de B(a)P le 16 février 2020

Une nouvelle fois, l'écoulement de la masse d'air est établi de façon claire (Figure 28). Cette aérologie a donc pu conduire à uniformiser les concentrations de B(a)P entre Passy et Les Granges de Passy (il n'y a pas de prélèvement disponible à cette date sur Sallanches). A noter la grande différence de direction de vents entre Passy et Chedde, signe de la complexité de l'aérologie de la zone.

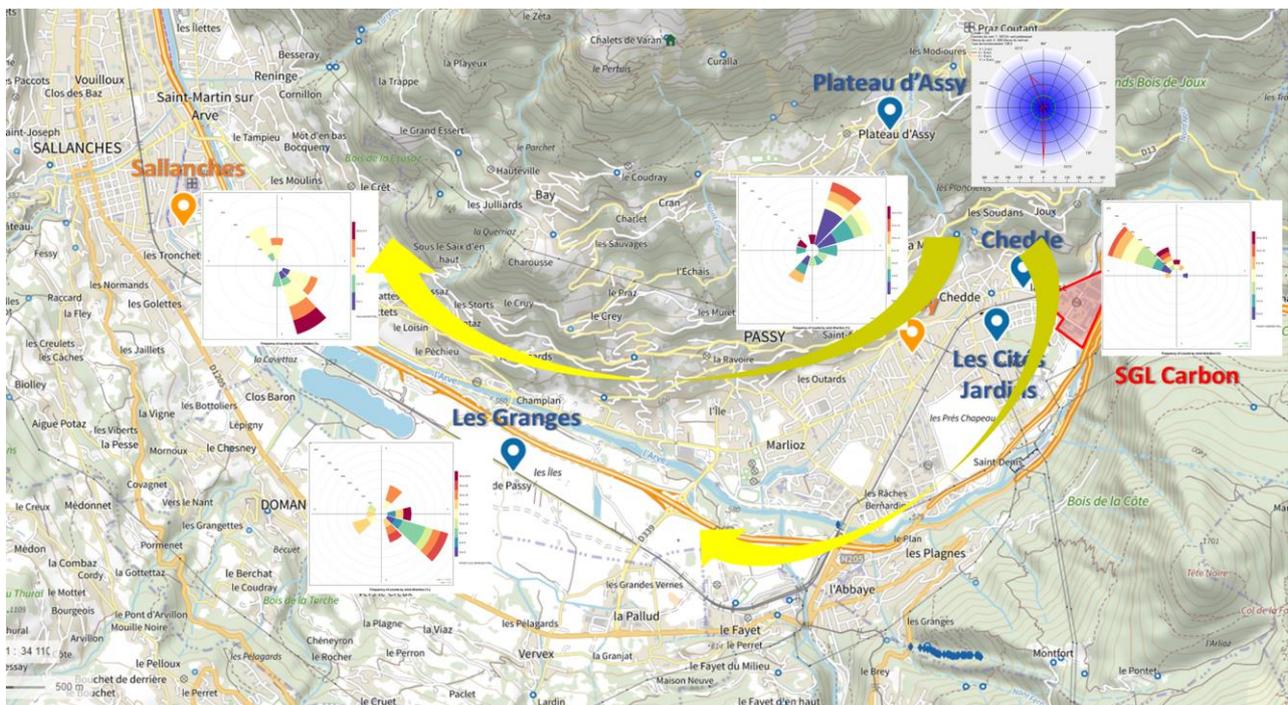


Figure 28 Roses de pollution PM10 le 16 février 2020

Ces premières observations doivent être nuancées par le fait que les vents peuvent être tournants voire contraires d'un secteur à l'autre sur une même journée. Les vitesses de vent sont également majoritairement faibles. Ainsi l'analyse de la répartition spatiale des concentrations moyennes, si elle permet de bien décrire la situation, n'est pas suffisante pour l'identification de sources.

## Conclusions sur la répartition spatiale du B(a)P sur le secteur de Sallanches -Passy

Sur l'année, le secteur résidentiel de Passy, où se situe la station fixe de surveillance, est le plus touché et dépasse la valeur cible. Cette zone en dépassement semble peu étendue géographiquement. En effet, les mesures réalisées sur les autres points de la commune : Chedde, Cités jardins et Les Granges sont toutes inférieures. Les mesures sur le site d'altitude du Plateau d'Assy, dont les niveaux sont restés très bas, ont clairement montré par ailleurs que **la problématique du B(a)P se cantonne au fond de vallée.**

Bien que les moyennes annuelles des sites Chedde et Les Granges soient proches, il est fréquent pendant l'hiver que les concentrations de B(a)p sur le site de Chedde soient inférieures à celles des autres sites de la vallée.

Sur le pas de temps journalier, une grande variabilité est visible entre les sites et plusieurs types de situations ont pu être étudiées.

- Les niveaux de Sallanches et Passy peuvent, durant certaines journées, être proches et supérieurs au reste de la vallée, constituant ainsi des « spots » de B(a)P, particulièrement en saison froide, lorsque le chauffage constitue une source importante.
- Lors d'épisodes de pollution, tous les sites du fond de vallée présentent des concentrations supérieures à  $1 \text{ ng/m}^3$ . Ainsi, toute la zone comprise entre Passy et Sallanches est concernée par des niveaux potentiellement élevés. Le fond résidentiel de Passy est cependant encore bien au-dessus du reste de la vallée.
- L'aérodologie joue un rôle très important et complexe. On observe régulièrement un écoulement général préférentiel de la masse d'air (entraînant les polluants) vers le bas de la vallée, pouvant expliquer en partie notamment que le site de Chedde présente des niveaux inférieurs aux autres.

En complément des mesures effectuées dans cette étude, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes réalise chaque année une cartographie régionale du benzo(a)pyrène, la Figure 29 présente les résultats de cette cartographie sur le secteur Sallanches–Passy pour l'année 2020, réalisée en prenant en compte les résultats des mesures annuelles. Sur ce secteur présentant une grande variabilité des concentrations à faible distance, la mise en œuvre de la cartographie régionale est délicate.

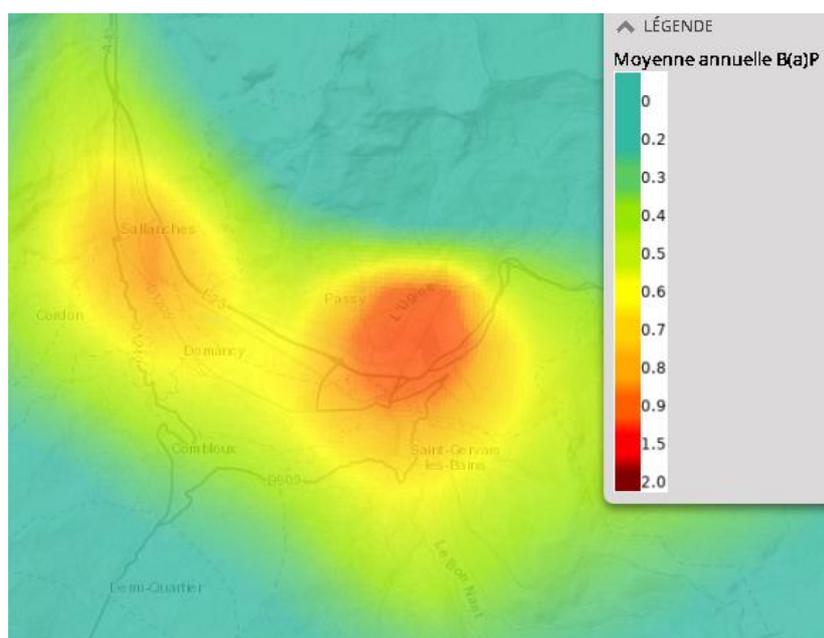


Figure 29 Cartographie régionale de la moyenne annuelle de B(a)P (en  $\text{ng} \cdot \text{m}^{-3}$ ) en 2020 – Zoom sur le secteur Sallanches-Passy

### 3.2.3 Evolution temporelle des concentrations de benzo(a)pyrène

Les mesures sont réalisées à partir des prélèvements d'une durée de 24 heures, une fois tous les 3 jours. En conséquence, l'évolution temporelle des concentrations n'est pas connue à une échelle inférieure à la journée. La Figure 30 présente l'évolution pendant l'année 2020 sur les sites de mesures. Tous les sites présentent la même évolution annuelle avec **des concentrations hivernales nettement plus élevées qu'en été. De début mai à fin septembre, les concentrations sont faibles**, très majoritairement inférieures à  $0,1 \text{ ng/m}^3$ . Fin

septembre, alors que les températures ont chuté brusquement, on peut observer également une hausse des concentrations de B(a)P.

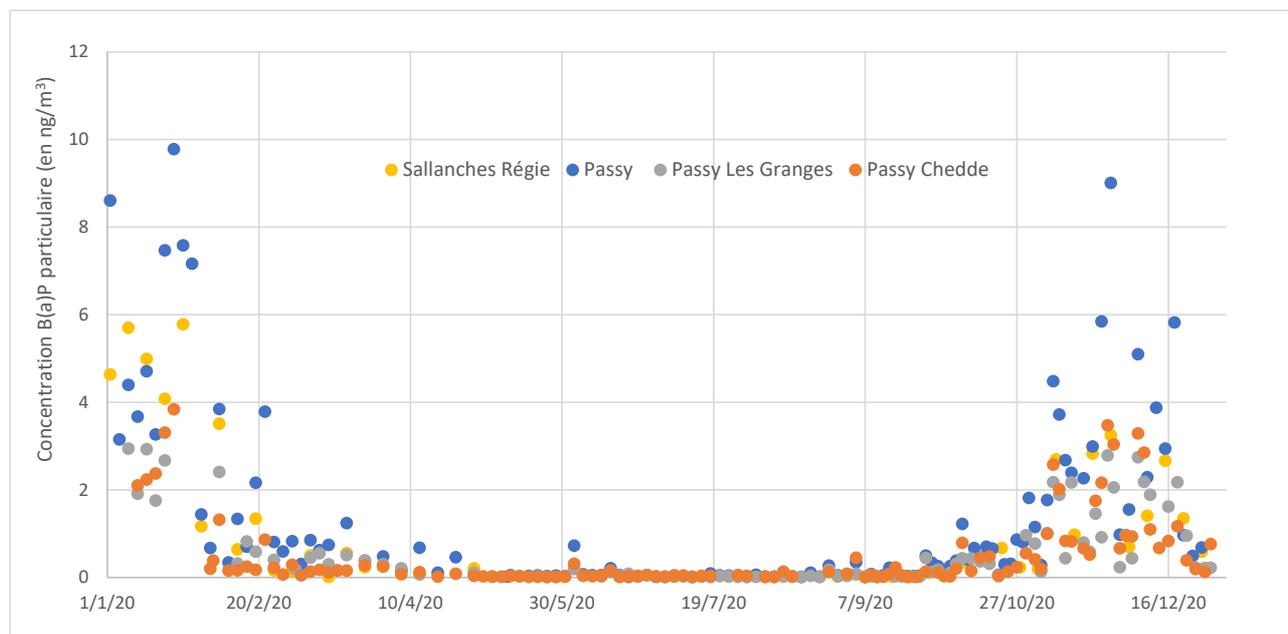


Figure 30 Evolution temporelle des concentrations de B(a)P particulaire sur le secteur Sallanches -Passy

L'évolution des autres composés HAP a été étudiée dans le bilan détaillé des mesures mises en œuvre dans le cadre de la surveillance de SGL Carbon (Atmo Aura, 2021). Les conclusions sont reportées ici :

- **Tous les composés particulaires présentent une saisonnalité marquée** avec des concentrations hivernales nettement plus élevées que les concentrations estivales, certains composés sont même quasi absents en été (benzo(a)anthracène, indéno(1,2,3cd)pyrène).

Pour les composés gazeux :

- Le fluoranthène est en période hors chauffage (mai – septembre) toujours supérieur sur le site de « Passy – Chedde » à celui de « Passy – les Granges », **la saisonnalité est moins marquée** que d'autres polluants. Cela pourrait indiquer une contribution de l'activité de SGL Carbon sur les niveaux de ce composé mais aussi la contribution d'une autre source, comme le trafic.
- L'acénaphthène est plus important à Chedde sur la période de novembre à mi-décembre, mais à la différence du fluoranthène, les concentrations estivales ne sont pas plus importantes à Chedde.
- Le pyrène présente des concentrations estivales non négligeables, bien qu'inférieures aux concentrations hivernales, le site de Passy-Chedde semble toujours supérieur à celui des Granges.
- L'anthracène présente un profil très atypique par rapport aux autres polluants, avec des concentrations « importantes » en juin-juillet, indifféremment du site.

Ainsi de manière générale, la saisonnalité des composés HAP est beaucoup plus marquée pour les composés particulaires que pour les composés gazeux.

### 3.3 Quelle est la contribution des différents secteurs sur les concentrations de PM et de B(a)P ?

Les paragraphes précédents décrivent bien **la répartition spatiale et temporelle des particules en suspension PM10 et PM2,5 et du benzo(a)pyrène** sur le secteur de Passy – Sallanches. De manière simplifiée :

- les niveaux de PM10 et de PM2,5 sont assez homogènes sur le secteur, légèrement plus élevés sur les zones les plus denses et urbanisées : stations fixes de Passy et Sallanches. Les valeurs limites sont respectées.
- les concentrations de B(a)P sont plus élevées sur la station de Passy que sur les deux autres stations de la commune, indiquant que la zone de dépassement de la valeur cible est peu étendue. Les stations urbaines (Passy, Sallanches) présentent la encore des niveaux annuels moyens plus importants.
- les concentrations hivernales de B(a)P sont nettement supérieures aux autres mesures réalisées dans la région. En été, les concentrations sont faibles et proches des autres mesures de la région.

Dans ce chapitre, la question plus spécifique de la contribution des différentes sources va être traitée, notamment la contribution du chauffage résidentiel et celle de l'industriel SGL Carbon. Comme vu en introduction, cette question a déjà été traitée dans des travaux antérieurs mais reste néanmoins régulièrement débattue. Dans cette étude, de nouvelles données sont disponibles avec notamment deux sites supplémentaires sondés toute l'année sur la commune de Passy, une période hivernale avec six sites mesurant le B(a)P en simultanément, la recherche dans l'air ambiant d'un composé spécifique de l'industriel et un partenariat de recherche avec de très nombreux composés analysés en fond urbain et en proximité industrielle.

Dans ce chapitre, les paragraphes ont été formulés sous forme de questions afin de pouvoir, sur la base de tous ces éléments, proposer une conclusion sur la contribution des sources et des recommandations sur les stratégies de surveillance.

### 3.3.1 Les sites présentent-ils une signature ou un comportement différent ?

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la question des HAP afin de savoir si la vallée de l'Arve ou plus particulièrement un secteur de la vallée de l'Arve présente des spécificités quant à la répartition ou à l'évolution des concentrations de HAP, pouvant ainsi donner des indications sur les sources contributrices.

Nous disposons de 2 jeux de données différents : d'une part celui issu des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance réglementaire de SGL CARBON (17 composés analysés dans les phases gazeuse et particulaire sur les sites de Chedde et Les Granges), d'autre part celui des données du réseau régional de surveillance (7 composés dans la phase particulaire).

#### Comparaison des profils moyens tous HAP sur les sites Passy-Chedde et Passy- Les Granges

Les Figure 31 et Figure 32 présentent les **profils moyens annuels** en phase particulaire et en phase gazeuse sur les sites de Chedde et Les Granges. Ce sont les données les plus complètes.

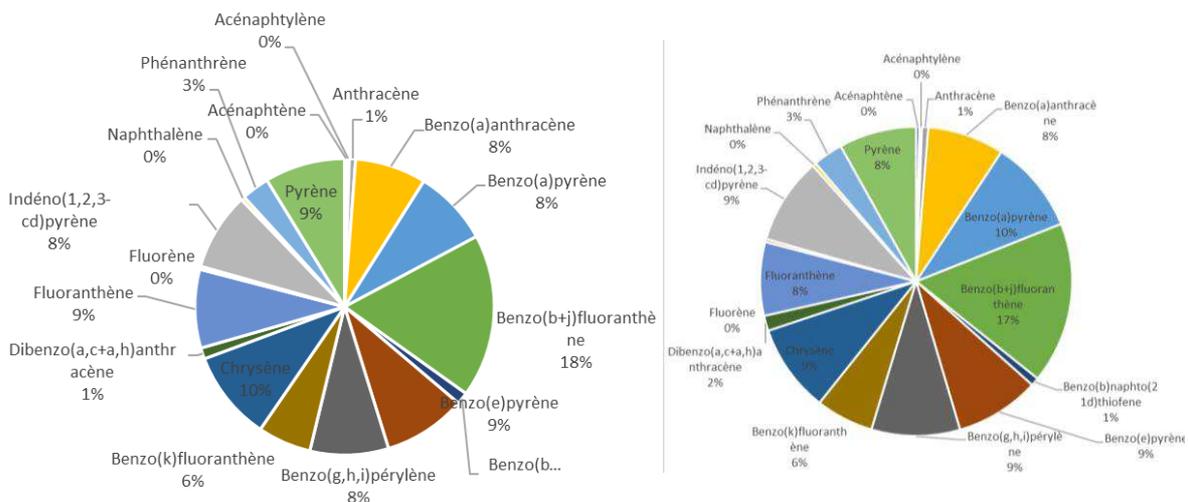


Figure 31 Profil moyen phase particulaire - Site de Chedde (à gauche) - Les Granges (à droite)

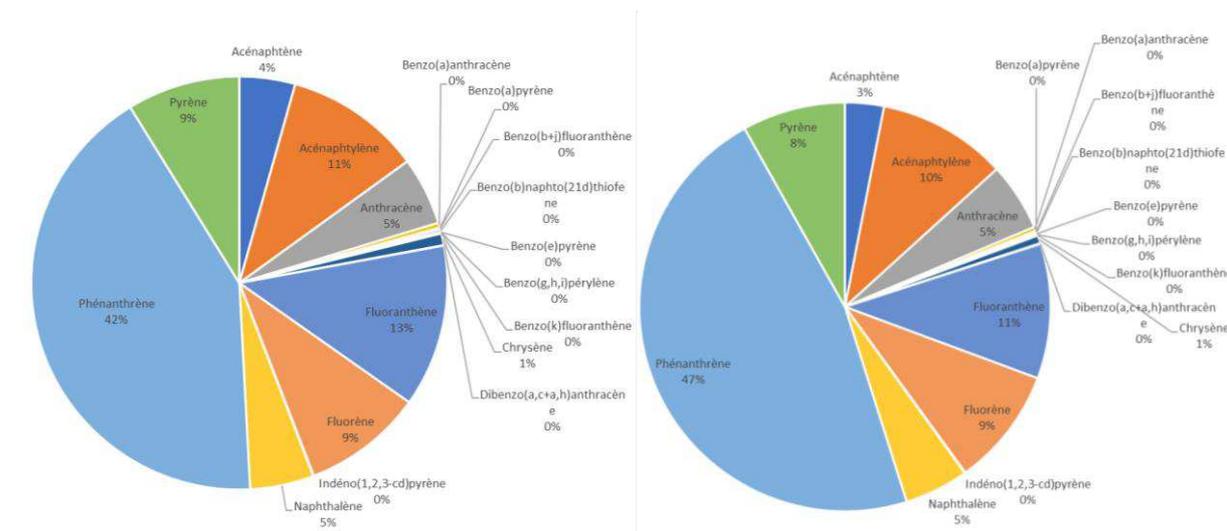


Figure 32 Profil moyen phase gazeuse - Site de Chedde (à gauche) - Les Granges (à droite)

Les profils annuels moyens sont très proches entre les deux sites. Quelques légères différences peuvent être notées :

- Pour la phase particulaire, le **benzo(a)pyrène** est plus contributeur sur le site des Granges. Les niveaux moyens étant similaires, cela indique qu'un certain nombre d'autres HAP sont plus présents, en proportion, sur le secteur de Chedde, c'est le cas du **benzo(b+j) fluoranthène, pyrène, chrysène, fluoranthène**.
- En phase gazeuse, la part du **phénanthrène** est plus importante aux Granges. **L'acénaphtène, le fluoranthène, l'acénaphthylène et le pyrène** sont plus présents en proportion sur le site de Chedde.

Dans le bilan détaillé de la surveillance SGL (Atmo Aura, 2021), d'autres spécificités avaient été mises en évidence en comparant les résultats des deux sites.

L'acénaphtène et le fluoranthène semblent se démarquer des autres composés par un rapport de concentrations plus important entre les deux sites. Le fluoranthène est effectivement en période hors chauffage (mai – septembre) toujours supérieur sur le site de « Passy – Chedde » à celui de « Passy – les Granges », la saisonnalité est moins marquée que d'autres polluants, ce qui pourrait indiquer une contribution de l'activité de SGL Carbon sur les niveaux de ce composé mais aussi la contribution d'une autre source comme le trafic. L'acénaphtène est plus important à Chedde sur la période de novembre à mi-décembre, mais à la différence du fluoranthène, les concentrations estivales ne sont pas plus importantes à Chedde.

Le pyrène présente des concentrations estivales non négligeables, bien qu'inférieures aux concentrations hivernales, le taux du site de Passy-Chedde semble toujours supérieur à celui des Granges.

Note : Tous les graphiques d'évolution temporelle sont disponibles dans le bilan détaillé (Atmo Aura, 2021).

### Comparaison des profils des composés particuliers sur tous les sites

Concernant les composés particuliers, les données disponibles sont plus nombreuses, en effet les mesures en phase gazeuse sont spécifiques à la surveillance de SGL Carbon, les mesures effectuées dans le cadre de la Directive Européenne sont réalisées en phase particulaire uniquement. Les figures ci-dessous présentent les moyennes annuelles des composés particuliers mesurés sur tous les sites de la vallée de l'Arve (certains composés ne sont pas mesurés sur les sites Chedde et les Granges).

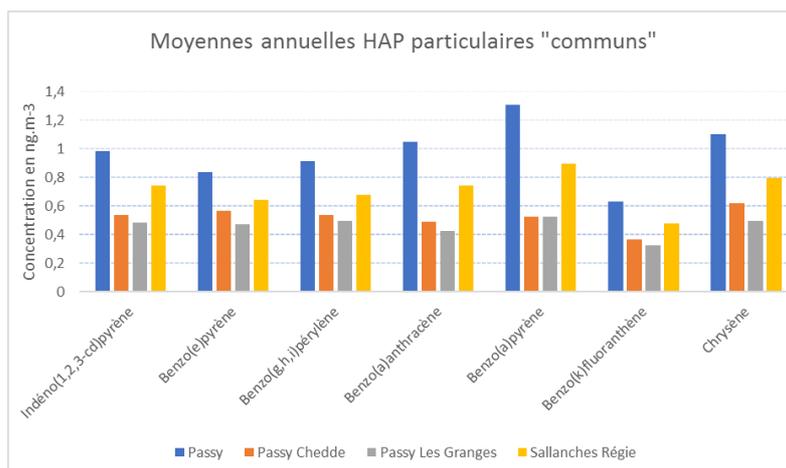


Figure 33 Comparaison des moyennes annuelles des HAP particulaires communs aux 4 sites

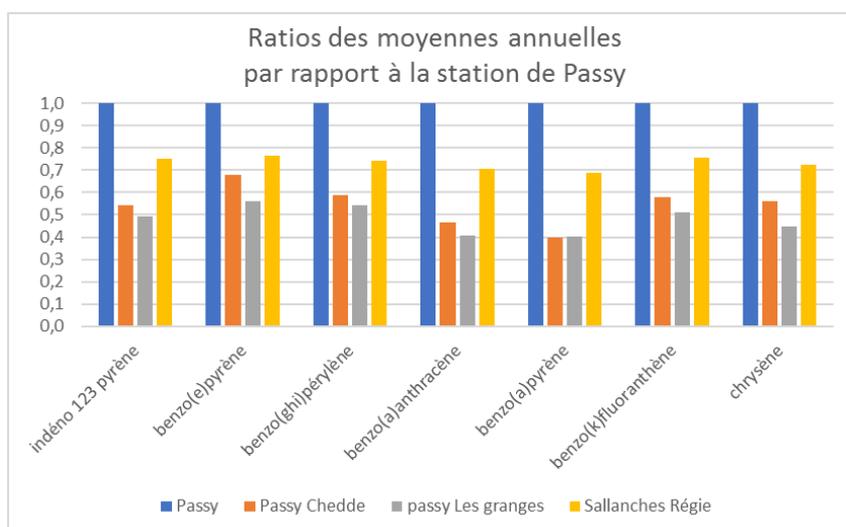


Figure 34 Ratios des moyennes annuelles par rapport à la station de Passy

La Figure 34 montre que les **stations urbaines de Passy et Sallanches ont une composition semblable** (avec toutefois des niveaux inférieurs sur Sallanches). En revanche, le **benzo(a)pyrène et le benzo(a)anthracène** sont moins présents en proportion sur Chedde et les Granges. Cela pourrait traduire la contribution plus forte de la source résidentielle à ces composés. A l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes, il est possible de comparer les profils moyens annuels des composés particuliers suivis dans le cadre de la Directive européenne (cf. Figure 35).

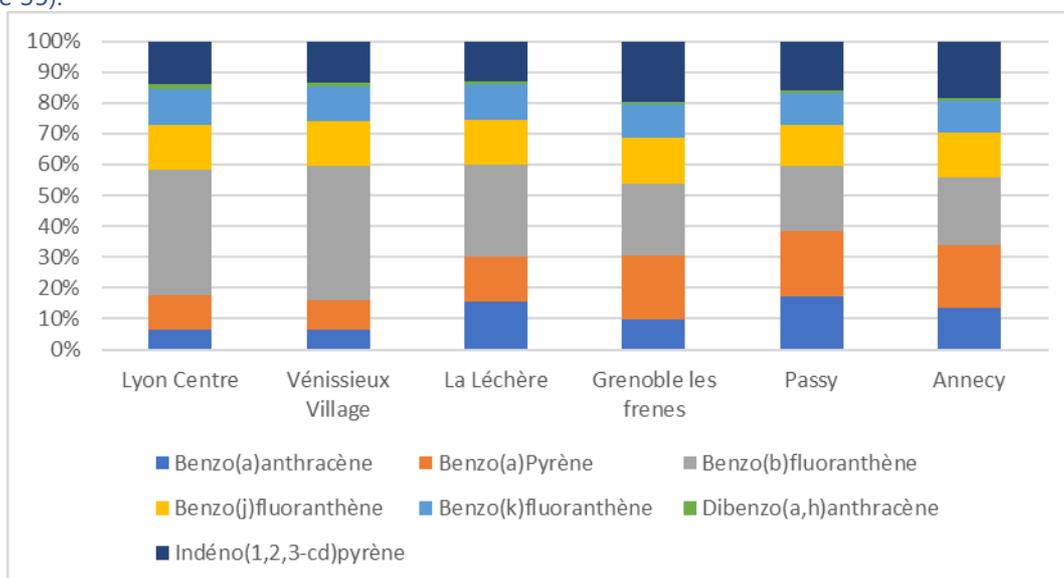


Figure 35 Profil moyen annuel 2020 des HAP particulaires (de la directive européenne) sur différents sites du réseau de surveillance en Auvergne-Rhône-Alpes

Les sites de la partie alpine (La Léchère, Annecy, Grenoble les Frênes et Passy) présentent une proportion plus importante de benzo(a)anthracène et benzo(a)pyrène, alors que l'agglomération lyonnaise présente la plus forte proportion de benzo(b)fluoranthène. Selon les inventaires d'émission, le benzo(b)fluoranthène est largement émis par l'industrie manufacturière (puis le résidentiel).

### Zoom sur la saisonnalité des concentrations de B(a)P

Afin d'étudier la contribution du chauffage par rapport à celle de SGL Carbon, on peut s'interroger **sur la saisonnalité des concentrations de benzo(a)pyrène**. En effet, alors que l'activité de l'établissement industriel est présente toute l'année, les émissions liées au chauffage sont concentrées sur la période hivernale. Néanmoins, les conditions de dispersion hivernales et estivales sont très différentes. Pour cet exercice, il est intéressant d'élargir l'étude au comportement des concentrations de benzo(a)pyrène sur l'ensemble de la région.

Le graphique suivant montre bien la saisonnalité du B(a)P pour différents sites de la région : Vallée de l'Arve, agglomération lyonnaise, site industriel de La Léchère en vallée de la Tarentaise. Les plus hautes concentrations se retrouvent en période froide, le site de Passy étant le plus touché. Il est intéressant de noter qu'en période printanière et estivale, les sites de la vallée de l'Arve présentent la plupart du temps des niveaux très faibles alors que sur le site industriel de la Léchère, un niveau de fond persiste, les niveaux mesurés sont alors supérieurs à ceux du secteur Passy-Sallanches. Cela montre qu'hors chauffage et hors conditions météorologiques stables, l'impact des autres sources de B(a)P situées dans l'Arve est faible.

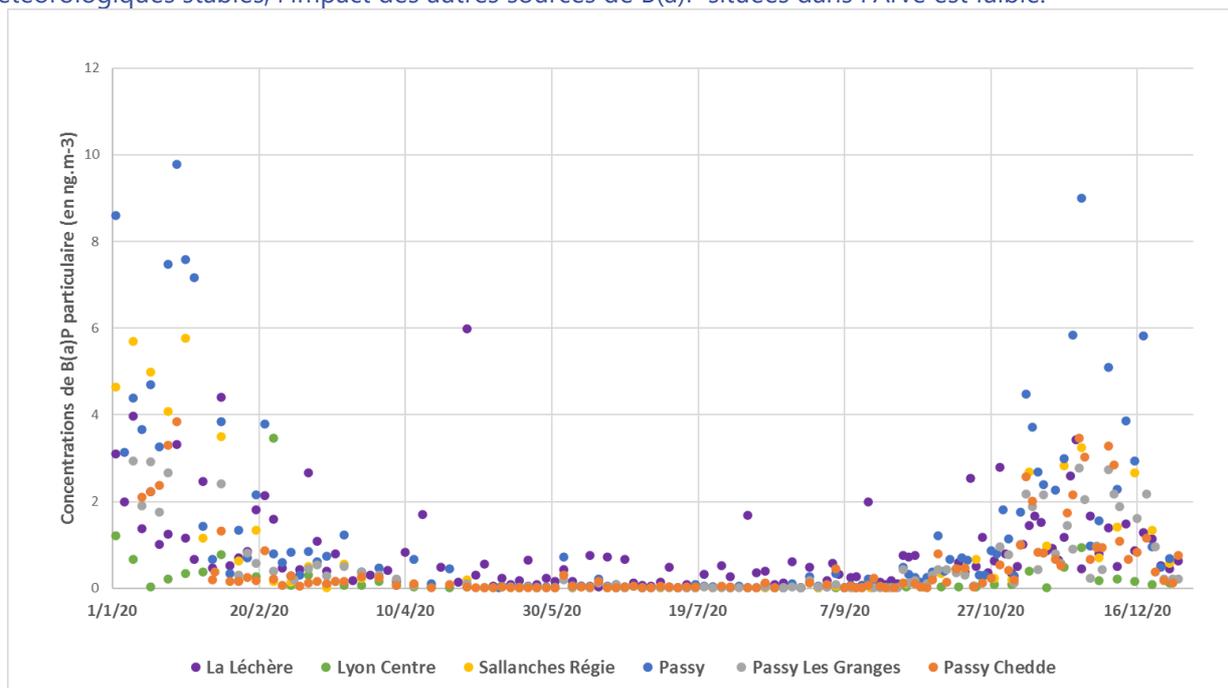


Figure 36 Evolution annuelle des concentrations de benzo(a)pyrène sur plusieurs sites de la région Auvergne-Rhône-Alpes

Pour aller plus loin dans l'exploration, on compare les moyennes « hiver » et « été », du 1<sup>er</sup> mai au 30 septembre, sur les différents sites de la région Auvergne-Rhône-Alpes. La Figure 37 présente les résultats en concentrations alors que la Figure 39 présente les mêmes résultats sous forme du ratio directement pour une meilleure lisibilité.

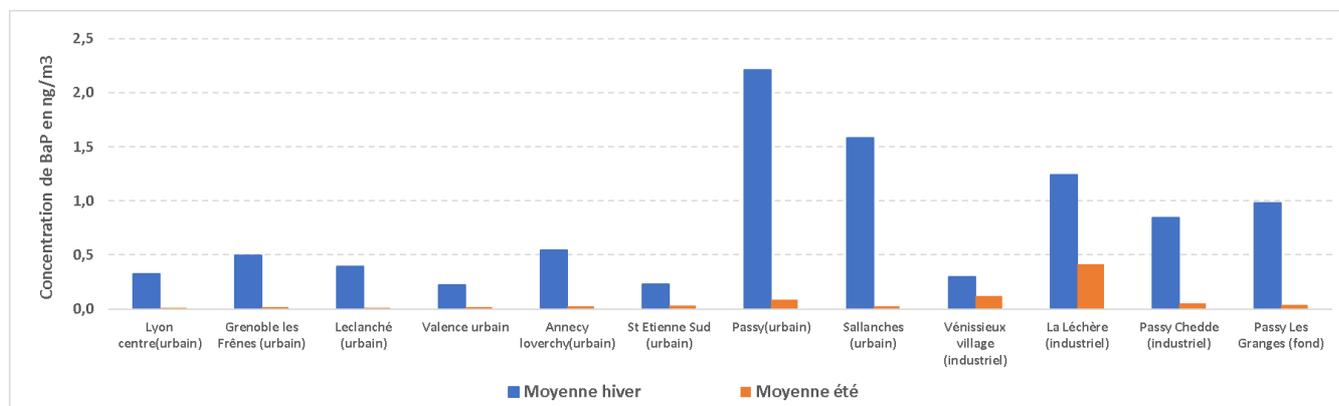


Figure 37 Comparaison moyenne « hiver » et moyenne « été » de benzo(a)pyrène sur différents sites de la région

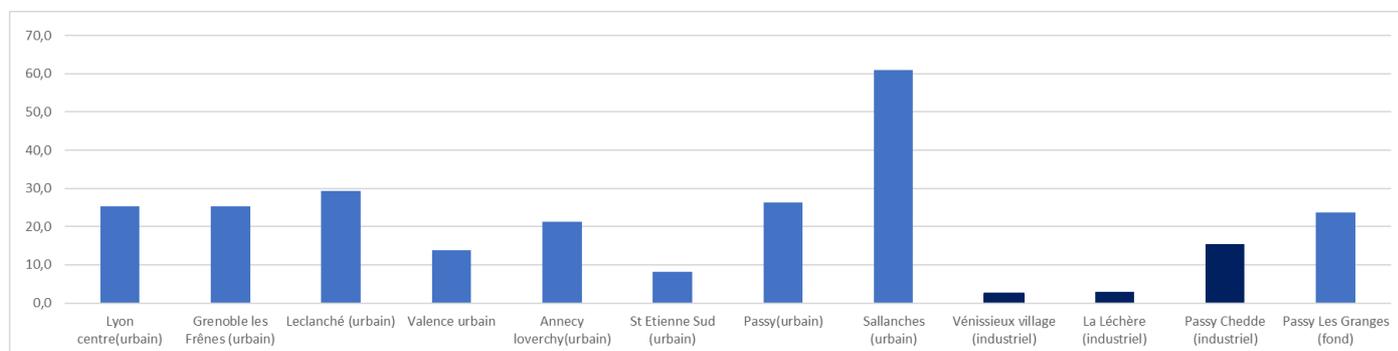


Figure 38 Ratio « hiver » / « été » de benzo(a)pyrène sur différents sites de la région

On peut remarquer que les deux sites industriels « Vénissieux Village » et « La Léchère » présentent les ratios les plus faibles et similaires de l'ordre de 3. En vallée de l'Arve, le site de Chedde, qui est le plus en proximité industrielle, présente le ratio le plus bas, alors que le site de Sallanches présente le ratio le plus important entre les concentrations « hiver » et « été ». Ceci pourrait être dû à une contribution chauffage plus importante à Sallanches et une contribution industrielle qui augmente en se rapprochant de Chedde.

### Zoom sur les concentrations de B(a)P versus l'estimation de la contribution de la biomasse dans les PM<sub>2,5</sub>

Dans les grandes agglomérations de la région et en vallée de l'Arve, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes met en œuvre des mesures à l'aide d'aethalomètres, qui permettent d'estimer la contribution de la combustion de biomasse aux particules PM<sub>2,5</sub>. La Figure 39 met en parallèle sur trois sites les concentrations de benzo(a)pyrène avec les concentrations estimées de « black carbon (BC) » lié à la combustion de biomasse, le « black carbon » étant le paramètre mesuré par les aethalomètres.

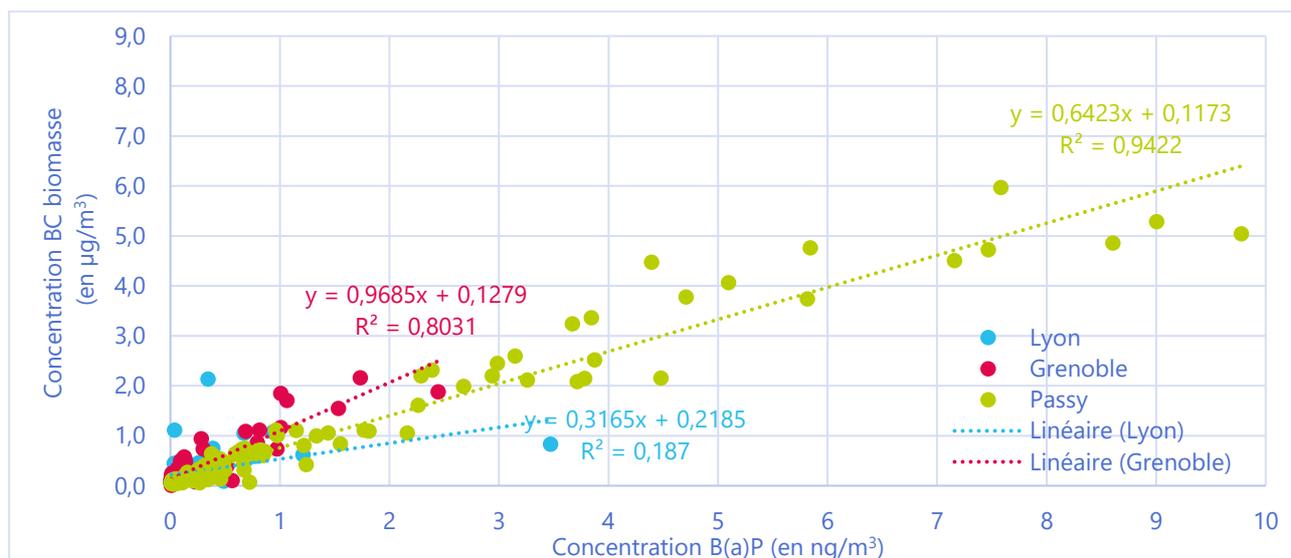


Figure 39 Corrélation entre les concentrations de benzo(a)pyrène (B(a)P) et le black carbon lié à la combustion de biomasse (BC biomasse)

Sur la station de Passy, les concentrations de benzo(a)pyrène sont très bien corrélées avec les concentrations de black carbon lié à la combustion de biomasse ( $r^2=0.94$ ). C'est le cas également à Grenoble, contrairement à Lyon centre. Le **benzo(a)pyrène est le HAP le mieux corrélé avec le black carbon lié à la biomasse** (de tous les HAP mesurés sur la station de Passy). Par ailleurs, la corrélation entre les concentrations de B(a)p (et des autres HAP mesurés) et les concentrations de particules primaires liées à la combustion de biomasse sur la station de Passy augmente entre 2015 et 2020, montrant **un lien plus étroit sur les deux dernières années avec la biomasse**. Cela traduit probablement la réduction de l'influence des autres sources, notamment l'industriel SGL CARBON (cf. annexe 5), dont les émissions ont été réduites notamment à partir de 2018.

#### ☞ Etude de ratios

Dans la littérature, mais également dans des travaux précédents, le calcul de ratios a été utilisé afin de mieux qualifier les sources possibles. Par exemple, dans la thèse de B. Golly en 2014, on peut trouver un tableau récapitulatif des ratios étudiés (cf. Annexe 2). Des ratios spécifiques ont également été calculés à partir des mesures à l'émission de SGL Carbon pour qualifier cette source.

Les ratios ont ensuite été calculés pour chaque site et par période à partir des concentrations mesurées dans l'air de la vallée de l'Arve afin de les comparer aux ratios source. Compte tenu de la dispersion des valeurs de la littérature pour une même source notamment, et parfois de ratios proches pour des sources différentes, cette méthode ne semble pas suffisamment robuste pour véritablement évaluer la contribution des sources. Néanmoins, on peut noter que le ratio benzo(a)anthracène/benzo(a)pyrène dans l'air est plus proche de la combustion de bois que du profil industriel à la source. Ce ratio tend à être supérieur sur Passy Chedde et Cités jardins, allant dans le sens d'une contribution industrielle plus forte sur ces deux sites.

#### Conclusions

- Les sites urbains de Passy et Sallanches ont le profil le plus proche, avec des contributions plus fortes en **benzo(a)pyrène et benzo(a)anthracène**. Le profil moyen de Passy est similaire aux sites alpins (Grenoble, Annecy).
- La saisonnalité du B(a)P est beaucoup plus marquée sur le secteur de Passy que sur les sites de typologie « industrielle » : La Léchère et Vénissieux Village.
- L'évolution des concentrations de benzo(a)pyrène dans le secteur de Sallanches/Passy montre une forte contribution du chauffage sur les concentrations, avec une influence de la contribution industrielle qui, bien qu'inférieure à celle enregistrée ailleurs dans la région Auvergne-Rhône-Alpes, est plus élevée dès lors que l'on remonte la vallée en allant sur le secteur de Passy et plus encore de Chedde.

### 3.3.2 L'analyse du BNT(2,1) permet-elle de tirer des conclusions sur la contribution de l'industrie ?

Dans le paragraphe précédent, les données de HAP « classiques » ont été exploitées. Dans le cadre de cette étude et de la surveillance prescrite par arrêté préfectoral, un composé spécifique a été ajouté aux composés analysés : le **benzo(b)naphto(2,1d)thiophène (BNT(2,1))**. Une thèse soutenue en 2014 (Golly, 2014) a identifié le BNT(2,1) comme marqueur d'activité industrielle de type « chimie du carbone ». L'étude des concentrations de ce composé devrait donc donner des informations importantes sur la contribution de l'activité industrielle sur les différents sites de mesure.

Contrairement au benzo(a)pyrène, une décroissance des niveaux moyens annuels de BNT(2,1) est constatée entre le site de proximité industrielle de Passy - Chedde et le fond hors influence de Passy - Les Granges (Figure 40). Sous forme particulaire, la concentration sur le site de Chedde est quasiment 2 fois plus élevée qu'aux Granges. L'écart est encore plus important si l'on intéresse à la phase gazeuse, en effet les niveaux en proximité industrielle sont 3 fois plus élevés qu'en fond. **C'est pour ce composé que l'écart entre les deux sites, Chedde et les Granges, est le plus important (Atmo Aura,2021), ce qui tend à confirmer sa qualité de bon indicateur de l'influence de l'activité de chimie du carbone.**

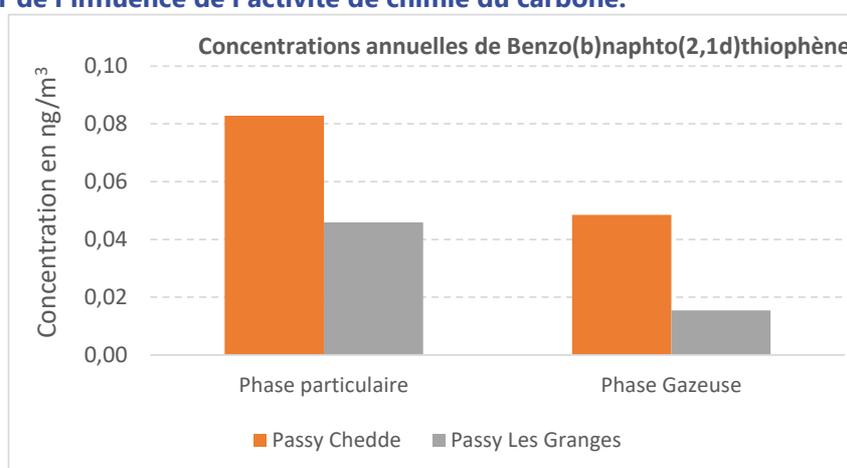


Figure 40 Comparaison des moyennes annuelles de BNT(2,1) – Année 2020

Le BNT(2,1) a été mesuré dans de nombreuses atmosphères urbaines mais n'est pas détecté sur des sites ruraux qui sont plus éloignés des sources d'émission (Cf Atmo Aura, 2021). Cela corrobore parfaitement l'observation faite dans ce suivi. Les concentrations observées dans l'air ambiant de BNT(2,1) varient énormément en fonction de la proximité des sources. En 2014, des mesures effectuées dans l'enceinte du site de SGL CARBON (Golly, 2014) avaient relevé des concentrations entre 0,18 et 15,8 ng.m<sup>-3</sup>. La littérature indique par ailleurs des concentrations dans l'air de l'ordre de 0,04 ng.m<sup>-3</sup> à 0,7 ng.m<sup>-3</sup> sur différents sites urbains en Europe et aux Etats-Unis<sup>9</sup>. Les concentrations relevées lors de la présente étude de 2020, avec une moyenne annuelle maximale de 0,08 ng.m<sup>-3</sup>, se situent donc en moyenne dans la fourchette basse des sites urbains.

La Figure 41 présente l'évolution annuelle du BNT(2,1) en phase particulaire sur les deux sites. **Les concentrations mesurées sur le site de Chedde sont très majoritairement supérieures au site de fond.** Néanmoins, les concentrations relevées sur le site des Granges sont parfois similaires, voire légèrement supérieures. Par ailleurs, en faisant l'hypothèse que le BNT2,1 est émis toute l'année par une source très majoritaire, SGL CARBON, cette évolution annuelle des concentrations pourrait traduire l'influence des conditions météorologiques plus ou moins favorables à la dispersion des composés dans l'air. Le ratio de la moyenne « hiver » sur moyenne « été » pour le BNT2,1 particulaire est d'environ 4 sur le site de Chedde (et 5 pour le site des Granges). Ce ratio est bien inférieur au ratio de B(a)P pouvant traduire l'absence de saisonnalité dans les émissions de BNT2,1 contrairement aux émissions de B(a)P. (Pour mémoire, le ratio hiver/été pour le B(a)P est de 15 à Passy-Chedde).

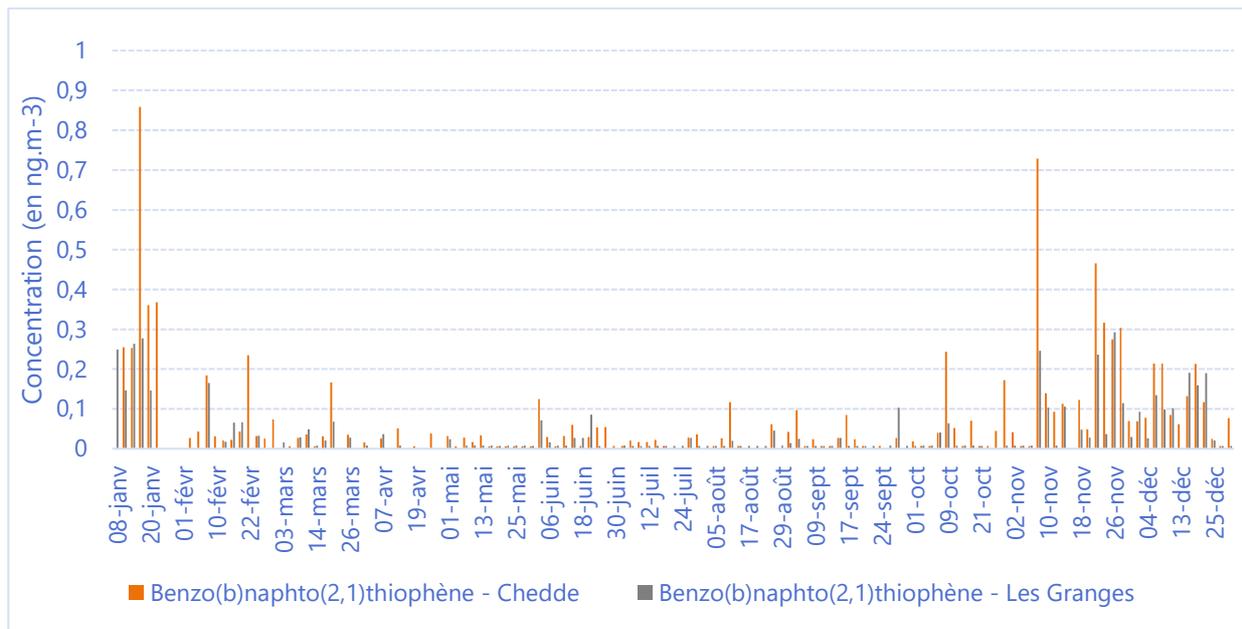


Figure 41 Evolution du BNT(2,1) en phase particulaire sur les sites de surveillance

Un phénomène spécifique est observé sur les concentrations de BNT<sub>2,1</sub>. En été, les concentrations en phase gazeuse sont parfois supérieures aux concentrations mesurées en phase particulaire.

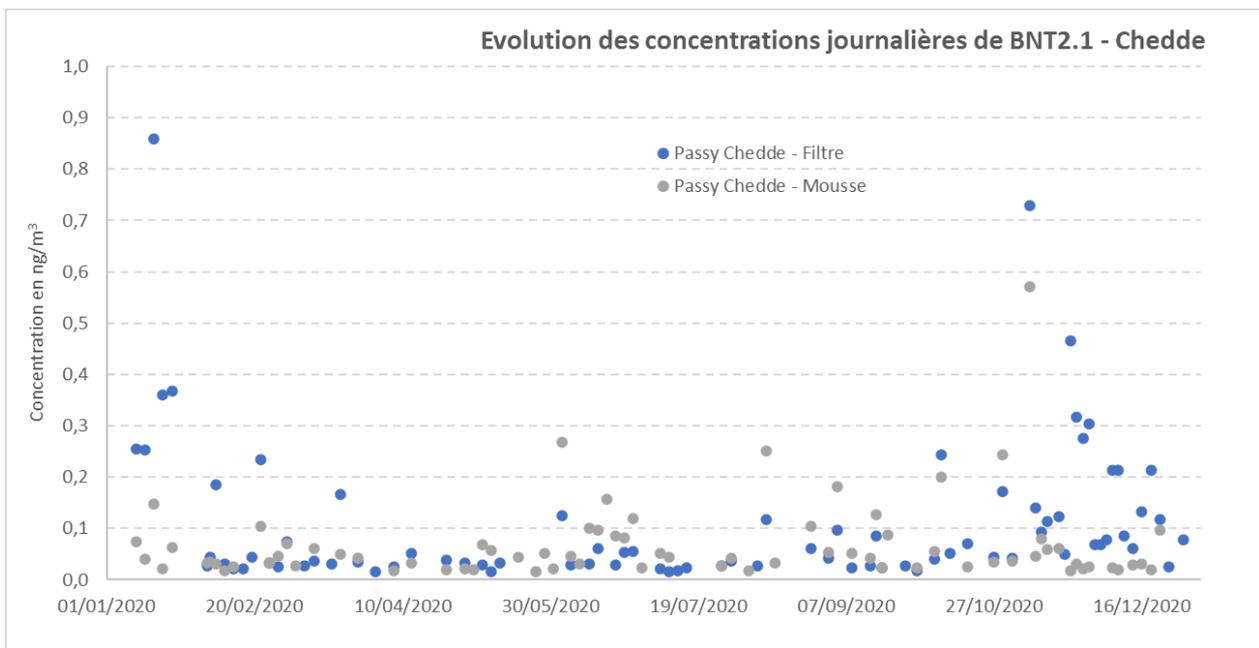


Figure 42 Evolution des concentrations de BNT(2,1) en phase particulaire et en phase gazeuse sur le site de Chedde

Lors des mesures complémentaires en début d'année 2020, le BNT<sub>2,1</sub> a été recherché sur les sites « **Plateau d'Assy** » et « **Cités Jardins** », afin de mieux documenter la répartition spatiale. L'analyse du BNT<sub>2,1</sub> a également été effectuée sur les prélèvements réalisés à **Sallanches** pendant toute l'année 2020 (à partir de février). En revanche, le BNT<sub>2,1</sub> n'a pas pu être recherché sur le site de Passy car les prélèvements ne sont pas analysés dans le même laboratoire. Le site de Passy appartenant au dispositif de surveillance réglementaire national tel que mentionné dans [l'arrêté du 21 avril 2021](#), le protocole de prélèvement et d'analyses est spécifique et durable, il ne peut pas être modifié ponctuellement à des fins d'études.

Néanmoins des prélèvements spécifiques ont donc eu lieu dans le cadre du partenariat de recherche avec le laboratoire EDYTEM (cf. paragraphe 3.3.4). Sur le plateau d'Assy, 18 jours de prélèvement ont été réalisés entre le 23 janvier et le 15 mars 2020, le BNT<sub>2,1</sub> a été quantifié deux fois en faible quantité, le 23 janvier et le 1<sup>er</sup> février. En proximité de l'établissement industriel de SGL CARBON, un deuxième point avait été disposé, « Cités jardins », afin de comparer les concentrations au site de « Passy Chedde » retenu dans l'arrêté préfectoral de

surveillance environnementale de SGL. Le site de Chedde est « en théorie » le site le plus exposé aux retombées de l'établissement industriel.

Le graphique suivant compare les concentrations de BNT2,1 sur ces deux sites, sur les journées communes de prélèvement, au nombre de 12 uniquement, compte tenu des différents problèmes techniques. Sur ces prélèvements, **la concentration en BNT2,1 est toujours supérieure sur le site « Cités jardins » en comparaison du site de Chedde** (cf. Figure 43). Sur ces journées, le ratio entre les deux sites varie de 1,2 à 10 (le 28 février). Si le BNT2,1 est bien issu majoritairement de l'activité industrielle, ce résultat indique que **le site retenu pour la surveillance dans l'arrêté préfectoral ne serait pas le plus exposé à l'activité industrielle, en période froide** (pas de mesure de comparaison disponible en période estivale).

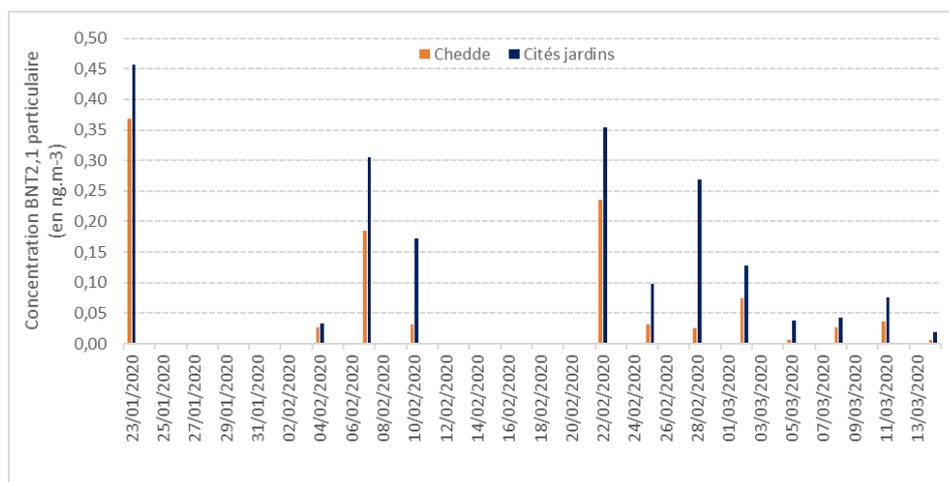


Figure 43 Comparaison des concentrations BNT2,1 particulaire sur les sites Cités Jardins et Chedde

Si on ajoute les autres sites, 4 journées sont disponibles avec l'ensemble des prélèvements. Sur ces 4 journées, la concentration maximum de BNT(2,1) est à chaque fois enregistrée sur le site « Cités Jardins ».

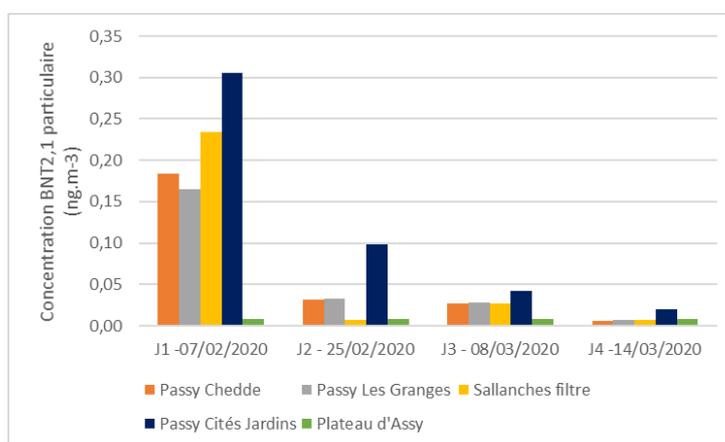


Figure 44 Concentrations de BNT(2,1) sur les différents sites lors des journées communes

Le 7 février, journée dont les caractéristiques ont été étudiées dans le chapitre précédent, il est « étonnant » de mesurer des niveaux supérieurs sur le site de Sallanches en comparaison de Chedde et les Granges. **Si** l'industriel est la source majoritaire de BNT2,1, on peut voir que son influence peut être mesurée dans certains cas jusqu'à Sallanches. Il faut rappeler toutefois que le 7 février, la concentration de B(a)p à Sallanches (3,5 ng/m<sup>3</sup>) est bien supérieure à Cités jardins (2,5 ng/m<sup>3</sup>).

Si l'on s'intéresse à l'évolution du ratio BNT2,1/B(a)P pour les 3 sites suivis en BNT2,1, on peut voir que :

- de mai à septembre, le ratio augmente lié à une baisse plus importante des concentrations de benzo(a)pyrène par rapport à celles de BNT2,1.
- le site de Passy-Chedde en proximité industrielle présente le ratio le plus élevé.

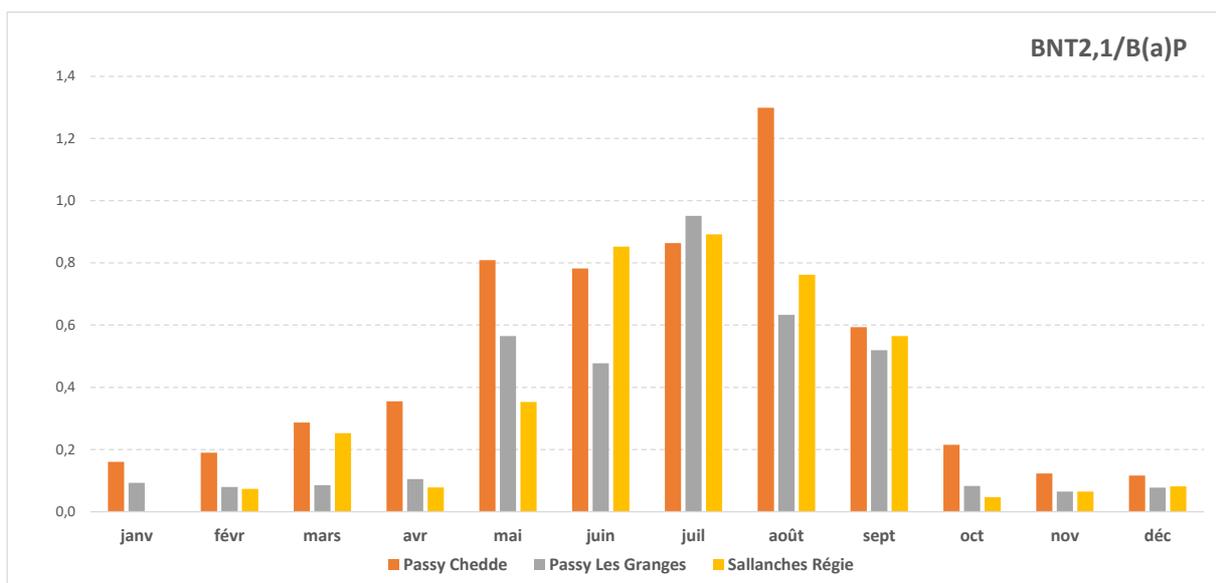


Figure 45 Ratio entre les concentrations mensuelles de BNT(2,1) et de B(a)P sur les différents sites

En plus des sites suivis annuellement, le ratio BNT2,1/B(a)P journalier pendant la période de l'étude complémentaire avec le site Cités jardins a été étudié. Sur la Figure 46, on peut voir qu'en cette période les deux sites les plus proches de l'établissement industriel présentent des ratios plus élevés par rapport aux sites de Sallanches et les Granges plus éloignés. Ceci semble confirmer l'intérêt du suivi du BNT2,1, comme marqueur de l'activité industrielle.

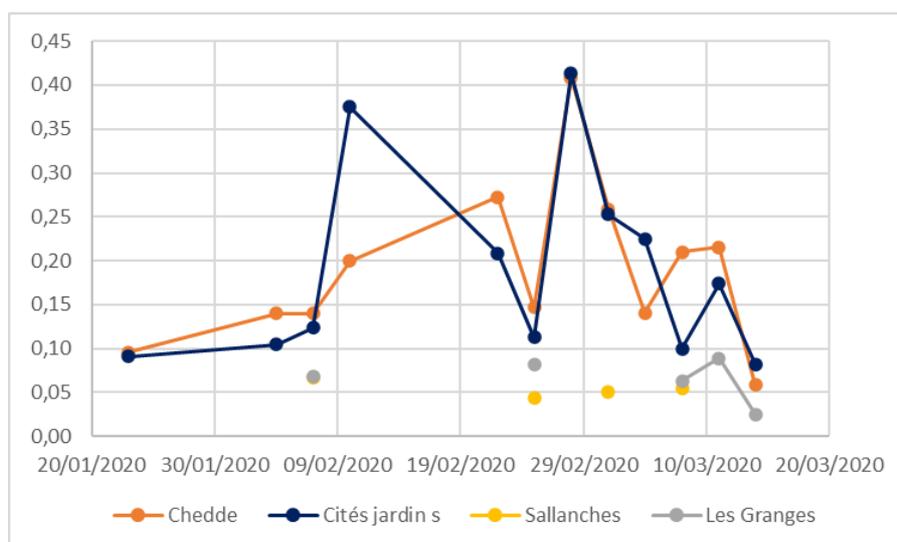


Figure 46 Ratios BNT2,1/B(a)P de janvier à mars 2020

## Conclusions

Les mesures de BNT2,1 en air ambiant dans le secteur de Passy-Sallanches réalisées cette année montrent un intérêt certain. Les résultats permettent de tirer les enseignements suivants :

- Le BNT2,1 semble de manière générale plus élevé sur le secteur Chedde/Cités jardins en comparaison de Les Granges/Sallanches, ce qui tendrait à montrer que c'est un bon indicateur de l'activité industrielle.
- Le site « Cités jardins » pourrait être plus impacté que le site « Chedde » par l'activité industrielle, il mériterait en conséquence des investigations complémentaires.
- Afin de confirmer que le BNT2,1 est un bon marqueur de l'activité industrielle, des mesures sur site pourraient être renouvelées.

### 3.3.3 Que nous apprend l'étude des incidents survenus lors du fonctionnement de SGL Carbon sur la contribution de son activité industrielle ?

Dans le bilan détaillé lié à la surveillance réglementaire de SGL CARBON, plusieurs incidents liés au fonctionnement du RTO ont été étudiés afin d'évaluer leur impact sur les niveaux de HAP et de particules. Au cours de l'année 2020, 4 évènements ont été signalés :

- Le 07 mai : incident sur une alimentation en air comprimé ayant induit un arrêt de l'unité de traitement des effluents gazeux (RTO) pendant 23 minutes (entre 10h30 et 11h).
- Le 2 juin : incident sur une vis d'alimentation du bicarbonate de sodium provoquant un arrêt du RTO pendant 15 minutes (entre 8h30 et 9h).
- Le 11 août : incident sur une vanne provoquant un arrêt du RTO pendant 8 heures (entre 9h30 et 17h30).
- Enfin, du 26 au 30 octobre, la maintenance annuelle du RTO a été réalisée. Des dispositions sont prises lors des maintenances pour limiter les émissions, à savoir :
  - Les produits cuits pendant cette période émettent très peu de polluants.
  - Les fumées sont quand même traitées par l'électrofiltre.

Les enseignements suivants ont été tirés :

- Pour les composés particulaires :
  - le **benzo(a)pyrène, le benzo(b+j)fluoranthène, le chrysène, l'indéno(1,2,3)pyrène, le benzo(g,h,i)pérylène, le benzo(k)fluoranthène, le dibenzo(ac+ah)anthracène, le BNT (2,1)** montrent un comportement similaire. Le 7 mai, aucun impact sur les concentrations n'est décelé par rapport aux jours précédents et suivants dans la période. En revanche, le 11 août est un jour avec des concentrations se démarquant légèrement sur la période. Il y a une différence entre les deux sites avec des concentrations plus élevées sur le site en proximité.
  - Le **benzo(a)anthracène** ne présente pas de pic de concentrations.
- Pour les composés gazeux,
  - Aucun impact remarquable sur **l'acénaphène, l'acénaphylène, l'anthracène, le naphthalène, le phénantrène et le fluorène.**
  - Le **pyrène et le fluoranthène** présentent un « pic » le 11 août, c'est-à-dire que leurs concentrations sont plus élevées qu'avant et après dans la même période, et les niveaux sur Chedde sont supérieurs aux Granges. Ce constat est moins marqué que pour les HAP particuliers.
  - Le **BNT2,1 sous forme gazeuse** présente également un « pic » le 11 août.

Lors de l'incident du 11 août, la concentration de benzo(a)pyrène est légèrement inférieure sur la station de Passy par rapport à Chedde, mais nettement supérieure à celle des Granges et Sallanches. En cette journée, les émissions de la combustion de biomasse sont très faibles (ce qui est confirmé par les mesures réalisées par l'aethalomètre). Ainsi, **lors de cet incident d'une durée de 8 heures, on peut voir que la station de surveillance de Passy est impactée par l'activité de l'établissement industriel de SGL (de même que celle de Passy-Chedde).**

**Il faut noter toutefois que les niveaux dans l'absolu sont très modérés par rapport aux niveaux mesurés en période hivernale pour la plupart des composés** (cf. Figure 47).

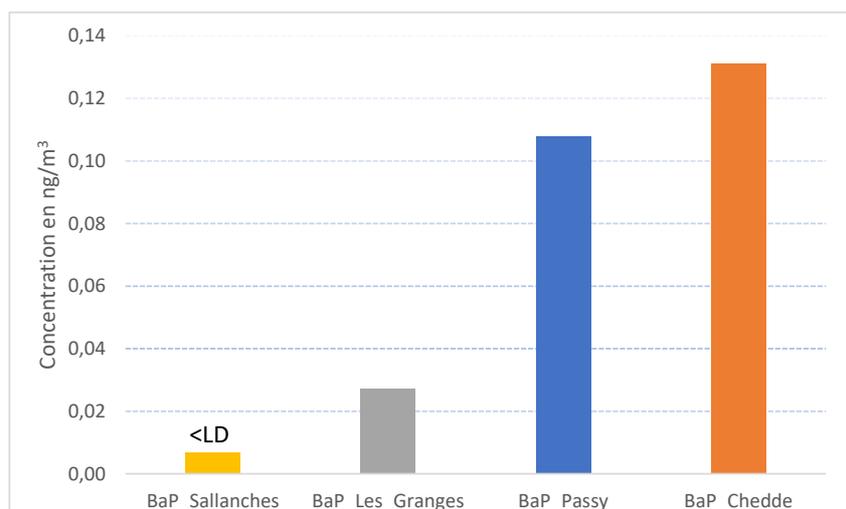


Figure 47 Concentration de B(a)P le 11 août 2020 lors d'un incident

En dehors du fonctionnement du RTO, des incidents ont par ailleurs été signalés le 8 novembre sur le four SM2 et le 21 novembre sur le four SM1. Le 8 novembre est un jour de prélèvement pour les HAP.

Les figures ci-dessous présentent les résultats des concentrations de B(a)p et de BNT(2,1) sur la première quinzaine de novembre 2020. Les concentrations de BNT(2,1) sont clairement plus élevées ce jour-là et plus particulièrement sur le site de Chedde. Les concentrations de benzo(a)pyrène sont supérieures à celles du 10 novembre mais du même ordre de grandeur.

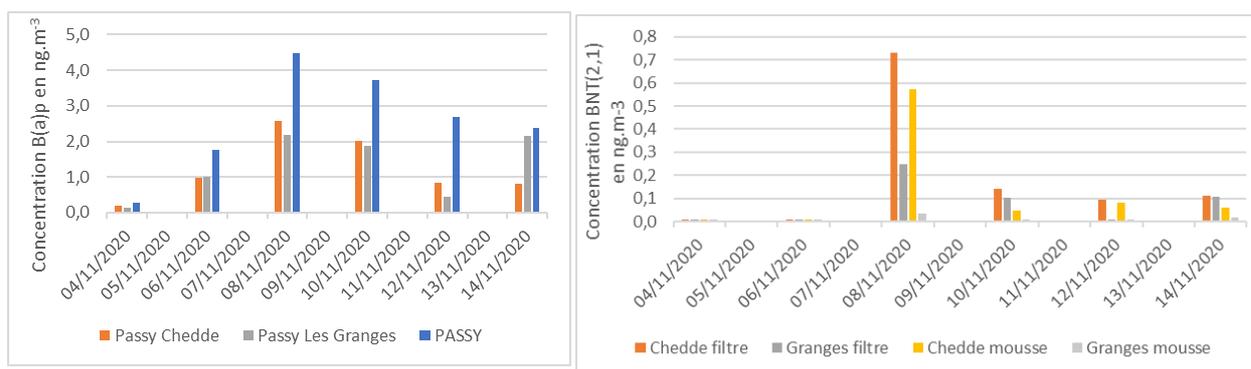


Figure 48 Concentrations de B(a)p particulaire sur le secteur de Passy du 4 au 14 novembre 2020 et concentrations de BNT(2,1) particulaire et gazeux

En s'intéressant au reste des composés, notamment sur le site de Chedde, en proximité industrielle, on peut noter que le **benzo(b+j)fluoranthène** pour les composés particulaires, le **fluoranthène** et le **pyrène** pour les composés gazeux, se démarquent le 8 novembre indiquant un impact probable de l'incident.

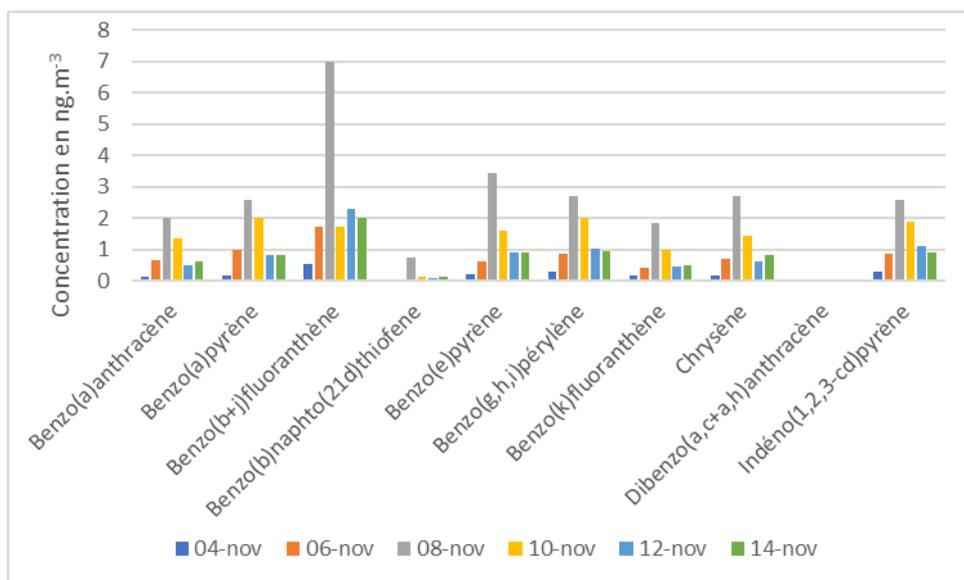


Figure 49 Concentrations de HAP particulaires sur le site de Passy Chedde du 4 au 14 novembre 2020

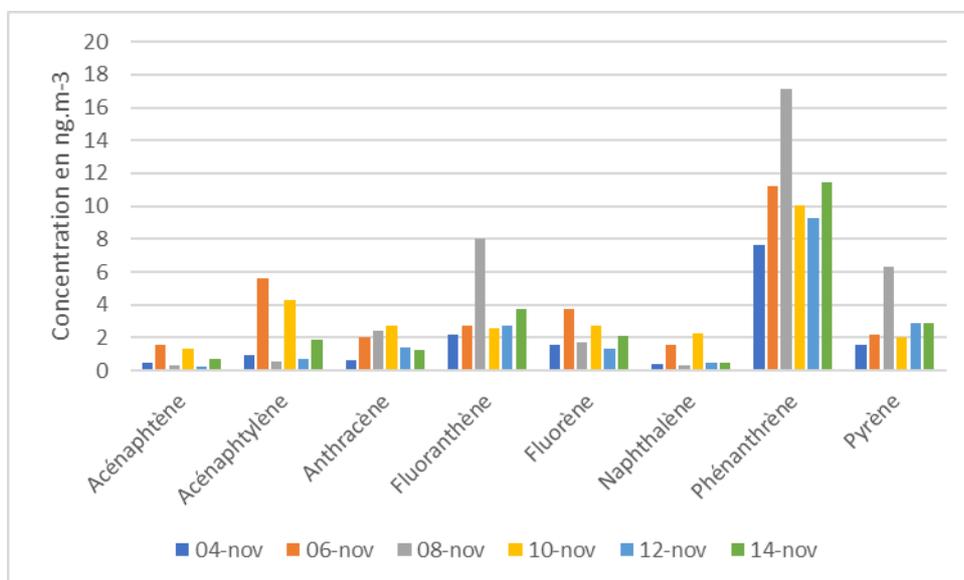


Figure 50 Concentrations de HAP gazeux sur le site de Passy Chedde du 4 au 14 novembre 2020

Pour compléter l'analyse, on peut étudier, sur le site de la station de Passy uniquement, l'impact de l'incident en étudiant la position du point de la journée de l'incident par rapport au nuage de points de l'année 2020 entre le black carbon lié à la combustion de biomasse et les HAP.

Sur les figures suivantes, le point de la journée du 8/11 apparait comme ayant une concentration de benzo(a)pyrène et de benzo(b)fluoranthène plus forte que celle « attendue » par rapport aux concentrations de black carbon lié à la combustion de biomasse démontrant la présence d'une autre source. Le constat est beaucoup plus net pour le benzo(b)fluoranthène. Compte tenu de la bonne corrélation entre HAP et black carbon, ce type d'analyse est intéressant en complément de l'étude des comparaisons entre site et entre les différentes journées.

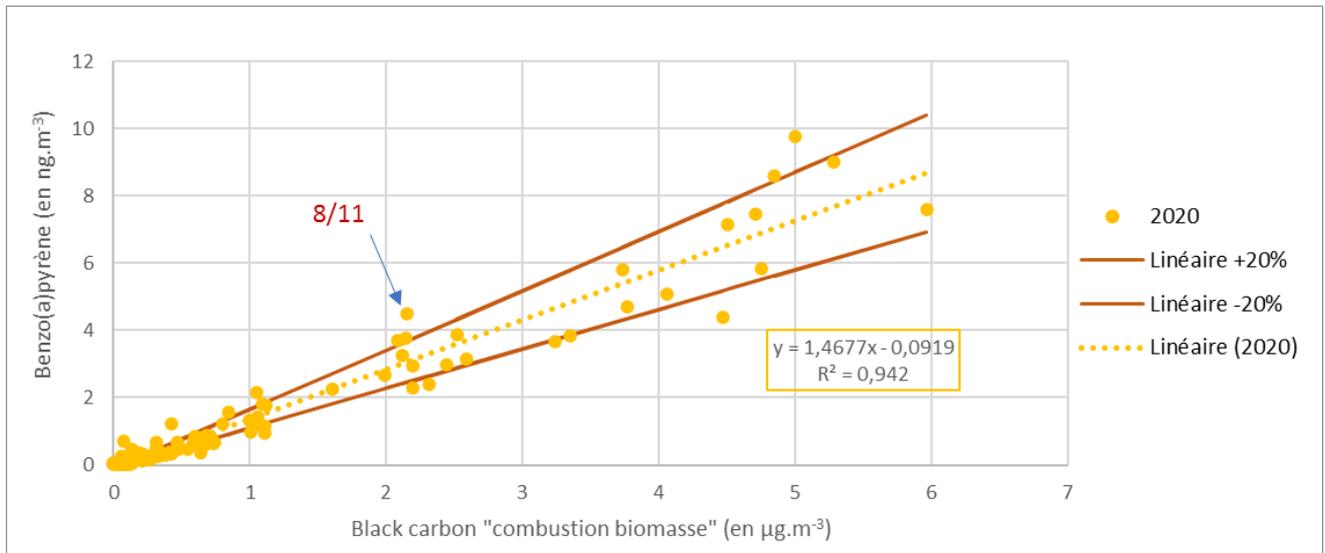


Figure 51 Concentration de benzo(a)pyrène en fonction du black carbon lié à la combustion de biomasse sur la station de Passy

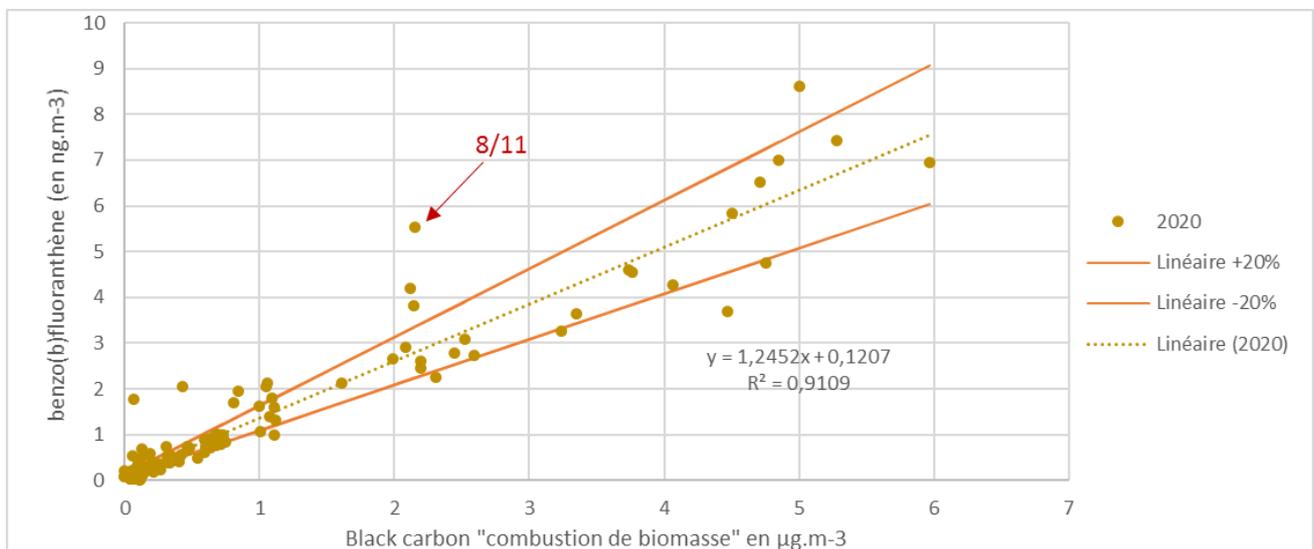


Figure 52 Concentration de benzo(b)fluoranthène en fonction du black carbon lié à la combustion de biomasse sur la station de Passy

## Conclusions

L'étude des incidents permet d'apporter quelques éléments complémentaires mais bien évidemment limités puisque ponctuels. Lors des incidents signalés du RTO, les niveaux de HAP sont restés très faibles. Néanmoins, lors de l'incident du 11 août, on a pu constater que l'impact sur Passy n'est que très légèrement inférieur à celui sur la station de Chedde. Le benzo(a)anthracène n'est pas retrouvé lors de l'incident, ce qui pourrait confirmer qu'il serait un bon indicateur pour la combustion de biomasse, comme le montraient les profils des stations urbaines étudiées plus tôt.

Lors de l'incident signalé en période froide (novembre) sur le four SM2, on peut voir que certains composés, notamment le BNT (2,1), le benzo(b+j)fluoranthène, le fluoranthène et le pyrène ont des concentrations plus élevées en proximité sur le site de Chedde. Ce jour-là, les concentrations de benzo(b)fluoranthène et de benzo(a)pyrène sur la station de Passy semblent impactées également.

### 3.3.4 Les méthodes utilisées par la recherche permettent-elles d'apporter des compléments ?

Dans le cadre de cette étude, un partenariat a été noué avec le laboratoire EDYTEM autour du projet ECAPI. Ce projet a pour objectifs de préciser l'influence de la source d'émission industrielle sur les niveaux de HAP sur 2 sites d'observation localisés sur Passy ; un site de proximité industrielle (lieudit Chedde) et un site de fond urbain localisé au centre de Passy distant de moins de 2 km. En s'inscrivant également dans l'étude plus large menée par Atmo AURA sur les HAP dans la vallée de l'Arve, ce projet doit permettre d'évaluer les conditions de dispersion des traceurs de la source industrielle dans le cadre particulier du site de Passy.

Dans ce paragraphe, le travail réalisé par le laboratoire de recherche EDYTEM est présenté afin de voir quels éléments complémentaires peuvent être apportés dans l'interprétation relative à la contribution des sources. La synthèse complète de l'exploitation des données réalisée par le laboratoire est annexée au présent rapport (cf. Annexe 6). Dans ce paragraphe sont repris les éléments principaux.

Deux sites ont été équipés de préleveurs dédiés à cette expérimentation de janvier à mars 2020 : **Chedde** et **Passy** (station fixe). Les prélèvements ont été réalisés par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Les analyses chimiques conduites sur les échantillons ont été réalisées sur les plateformes analytiques des laboratoires IGE (Plateforme AirOSol) et d'Edytem (Plateforme PTAL). Ces analyses concernaient la quantification :

- du carbone organique et carbone élémentaire OC/EC par méthode thermo-optique
- des espèces ioniques après extraction en phase aqueuse et analyse par chromatographie ionique
- des composés de la famille des monosaccharides anhydres et des polyols après extraction en phase aqueuse et analyse par HPLC-PAD
- des composés de la famille des HAP après extraction en phase organique et analyse par HPLC-Fluorescence UV
- des composés de la famille des alcanes, des hopanes et des benzo-naphto-thiophene après extraction en phase organique et analyse par GC-MS.

La liste de composés recherchés est ainsi bien plus importante que celle des composés classiques suivis par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

#### ☞ Indicateurs de source

Les composés de la famille des HAP présentent le même comportement que l'OC et l'EC avec des concentrations journalières significativement plus importantes sur le site de Passy, notamment pour la première partie de la période d'observation jusqu'au 29 janvier. En tenant compte de l'ensemble de la période d'étude, la concentration moyenne en HAP sur le site de Passy est plus de 2 fois supérieure à celle du site de Chedde avec respectivement  $14,1 \text{ ng.m}^{-3}$  et  $6,7 \text{ ng m}^{-3}$ . Le B(a)P suit la même tendance et présente des concentrations moyennes de  $1,4 \text{ ng.m}^{-3}$  à Passy et  $0,6 \text{ ng.m}^{-3}$  à Chedde (Figure 53).

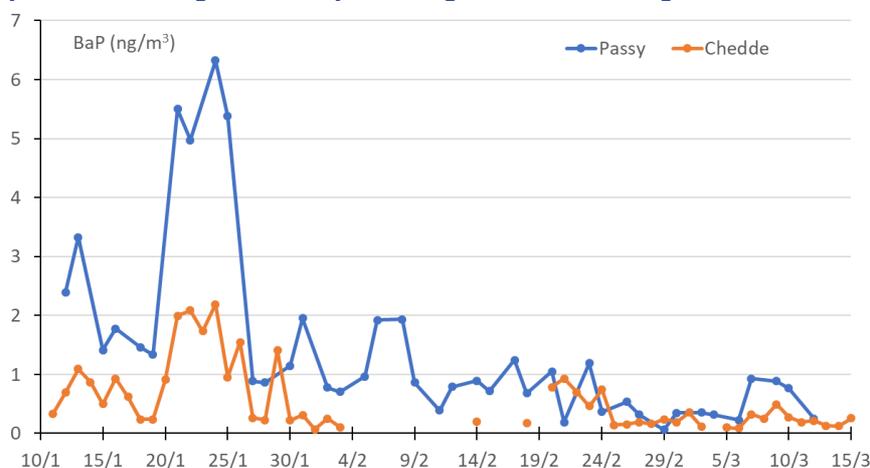


Figure 53 : Evolution des concentrations journalières de B(a)P sur la période du 10 janvier au 15 mars 2020 sur les sites de Passy et Chedde.

Parmi les composés constitutifs du carbone organique (OC), se trouve le **lévoglucosan**, reconnu comme **traceur de la combustion de biomasse**. Les études précédentes conduites dans la vallée de l'Arve ont montré l'importance de ce composé dans la matière organique des particules (PM) en période hivernale, notamment sur le site de Passy. Les concentrations observées dans le cas de cette étude montrent des **différences notables entre les deux sites**. Ainsi les concentrations journalières mesurées sur le site de Passy s'étendent de 304 à 4439 ng.m<sup>-3</sup>, avec une concentration moyenne de 1515 ng.m<sup>-3</sup>. Dans le cas du site de Chedde, la concentration journalière moyenne est inférieure, à 646 ng.m<sup>-3</sup>, et les valeurs n'excèdent pas 1914 ng.m<sup>-3</sup> (Figure 54).

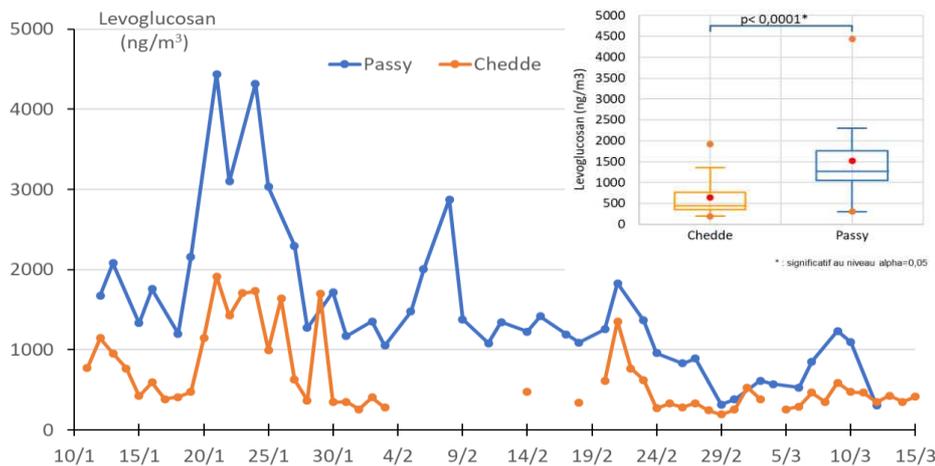


Figure 54 : Evolution et box-plot des concentrations journalières de Lévo-glucosan sur la période du 10 janvier au 15 mars 2020 sur les sites de Passy et Chedde.

Un comportement différent est observé dans le cas du BNT(2,1), **composé identifié comme marqueur d'activité industrielle de type « chimie du carbone »**. En effet, aucun écart significatif n'est observé entre les 2 sites (Figure 55). La concentration journalière moyenne est de 0,14 ng.m<sup>-3</sup> et 0,12 ng.m<sup>-3</sup> respectivement sur les sites de Passy et Chedde. Les concentrations maximales sont observées lors de la période météorologique correspondant aux conditions limitées de dispersion, et s'établissent à 0,56 ng.m<sup>-3</sup> à Passy et 0,58 ng.m<sup>-3</sup> sur le site de Chedde. Pour ce composé et plus globalement pour l'ensemble des HAP soufrés, durant cette première période les concentrations maximales sont observées sur le site de proximité de l'activité industrielle. Au-delà du 29 janvier des phénomènes de hausse de concentrations sont observés, impactant de façon plus ponctuelle l'un ou l'autre site.

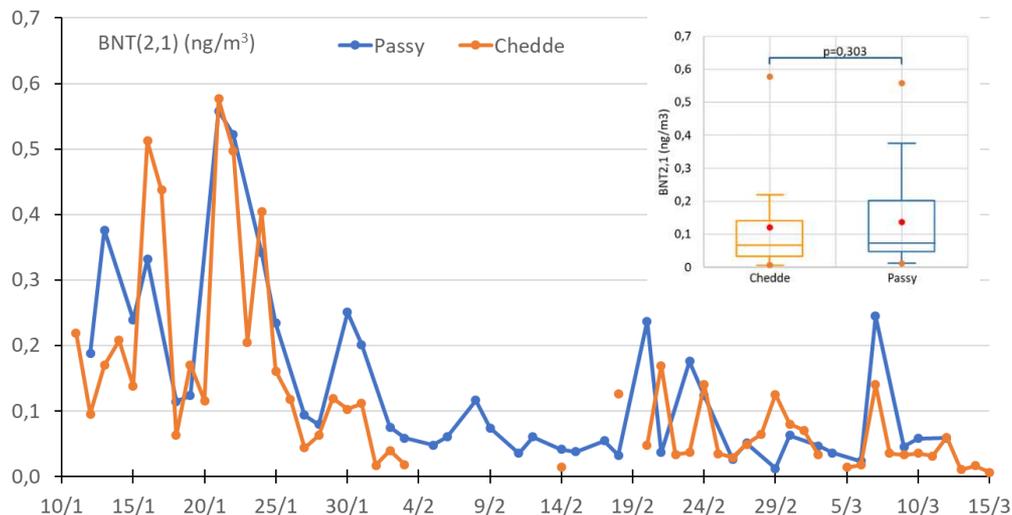


Figure 55 : Evolution et box-plot des concentrations journalières de BNT(2,1) sur la période du 10 janvier au 15 mars 2020 sur les sites de Passy et Chedde.

**Le comportement différencié du lévoglucosan et du BNT(2,1) illustre des influences de sources très différentes sur les 2 sites. L'influence d'émissions plus importantes de la source « combustion de biomasse » semble apparaître sur le site de Passy par rapport au site de Chedde. En revanche, l'impact des émissions industrielles est relativement proche pour les deux sites.**

Une autre analyse montre que le comportement différencié des deux familles de composés (HAPS soufrés, HAP totaux) illustre l'influence plus forte de la source industrielle sur le site de Chedde. Toutefois **cette influence plus importante ne s'accompagne pas d'une contribution plus élevée des composés de la famille des HAP dans la fraction organique des PM10.**

#### ☞ **Approche Ratio/ratio**

Les approches ratio-ratio des composés de la famille de HAP menées à partir des données de cette étude, montrent des dispersions des points relativement proches pour les sites de Passy et de Chedde (cf. annexe 6 pour les détails). Les points se situent dans une zone comprise entre le point caractéristique des émissions de combustion de bois (biomasse) et ceux illustrant des émissions industrielles dont l'industrie du carbone. Quel que soit la représentation choisie, la dispersion des points ne permet pas de mettre en évidence des influences fortes des émissions véhiculaires (trafic routier) sur les concentrations en HAP. **Si les deux sites d'étude apparaissent fortement impactés par la combustion du bois, l'influence de l'activité industrielle semble plus marquée ponctuellement sur le site de Chedde. A l'opposé les données du site de Sallanches se distinguent des autres sites en se situant au plus proche du point caractéristique de la combustion de bois** (ratio HAP/BaP), et les plus éloignées des points d'émissions industrielles (ratio HAP/IP). Toutefois, ce comportement doit être confirmé, le nombre d'observation étant plus limité sur le site de Sallanches.

#### ☞ **Conclusions**

La caractérisation chimique des PM10 est dominée par la matière organique sur les 2 sites (Passy et Passy – Chedde), mais avec une part plus importante sur le site de Passy. Ce résultat, associé à des contributions à la matière organique plus élevées de composés indicateurs de la contribution de biomasse, met en évidence **une influence plus forte de la source combustion de biomasse sur les niveaux de PM10 sur le site de Passy.** Les **HAP soufrés (dont le BNT(2,1)) semblent contribuer plus fortement à la matière organique des PM10 sur le site de Chedde.** Pour autant aucune différence significative de contribution des HAP à la matière organique totale n'est observée entre les deux sites.

L'influence des sources de HAP a été évaluée qualitativement par des approches de type ratio-ratio. **Sur les deux sites, les concentrations en HAP apparaissent fortement influencées par la source combustion du bois. Des influences ponctuelles plus marquées de la source industrielle semblent cependant visibles sur le site de Chedde.** Cette approche reste cependant qualitative et doit être prise avec précaution car conditionnée à la représentativité des points sources utilisés. Or, ceux-ci peuvent subir des évolutions dans le temps en lien avec les modifications de procédés utilisés notamment pour les sources industrielles.

### **3.3.5 Ces éléments sont-ils cohérents avec les inventaires d'émission ?**

La question de la contribution des différentes sources de polluants aux concentrations résultantes en un point donné est délicate, elle ne peut être tranchée avec certitude comme on l'a vu dans les paragraphes précédents, elle est par ailleurs **variable au cours du temps**. L'analyse de toutes les données disponibles est mise en regard des inventaires d'émission annuelles des différents composés sur le secteur.

Concernant les poussières PM10 et PM2,5, l'inventaire des émissions annuelles indique une contribution de 8 % pour l'industriel et 65% pour le secteur résidentiel pour les PM10. La surveillance mise en œuvre dans le

cadre de la surveillance SGL Carbon et le partenariat de recherche ne mettent pas en évidence de contribution qui serait très différente.

Concernant les HAP et notamment le benzo(a)pyrène, en désagrégeant les émissions annuelles 2018 sur les différents mois de l'année, la contribution de SGL Carbon aux émissions de B(a)P de la commune serait de l'ordre de 30% en hiver (période où les concentrations sont élevées). Avec la projection de la baisse des émissions (publiée par SGL CARBON dans son bilan environnemental 2020), cette part pourrait être de moins de 20% en 2020 (en conservant des émissions de chauffage constantes).

- ☞ **Les mesures réalisées et les exploitations effectuées ne permettent pas de mettre en évidence une part qui serait plus forte dans les concentrations de B(a)P en période froide.**

## 4. Conclusions et perspectives

Malgré la baisse des concentrations de benzo(a)pyrène et de particules en suspension ces dernières années, le secteur de Passy-Sallanches reste un secteur sensible à ces polluants, notamment le benzo(a)pyrène avec une concentration moyenne annuelle proche de la valeur cible sur la station urbaine. Les contributions des différents secteurs d'activité et plus particulièrement du chauffage au bois résidentiel et de l'industrie SGL CARBON sont au cœur des débats, et ont fait l'objet de nombreuses études. En 2020, le dispositif de mesures renforcé a permis d'aboutir à de nouvelles conclusions. Celles-ci se rapportent à l'état actuel et non pas aux contributions des dernières années.

### ☞ **Sur la répartition spatiale et temporelle du benzo(a)pyrène et des particules en suspension, polluants réglementés en air ambiant en raison de leur impact sanitaire:**

- La répartition spatiale des particules en suspension est plutôt homogène sur le secteur de Passy - Sallanches, avec toutefois des niveaux supérieurs sur les stations urbaines de Passy et Sallanches en zone résidentielle. De mai à septembre, les niveaux moyens observés sont similaires sur l'ensemble du secteur Passy-Sallanches et équivalents au niveau de fond régional.
- Concernant le benzo(a)pyrène, le secteur résidentiel de Passy présente la concentration moyenne annuelle la plus élevée. Cette zone pour laquelle le niveau est proche de la valeur cible est peu étendue géographiquement. En proximité industrielle, à Chedde, la valeur cible est respectée. Le site d'altitude du Plateau d'Assy, dont les niveaux sont restés très bas même pendant l'épisode de pollution en janvier, a par ailleurs clairement montré que la problématique du benzo(a)pyrène se cantonne au fond de vallée.
- Les niveaux de HAP à Sallanches et Passy peuvent, durant certaines journées, être proches et supérieurs au reste de la vallée, constituant ainsi des points de surexposition, particulièrement en saison froide, lorsque le chauffage constitue une source importante. L'aérodologie joue un rôle très important et complexe. On observe régulièrement un écoulement général préférentiel de la masse d'air (entraînant les polluants) vers le bas de la vallée.

### ☞ **sur la contribution des différents secteurs d'activité**

La question de la contribution des différentes sources de polluants aux concentrations résultantes en un point donné est délicate, elle ne peut pas être tranchée avec certitude dans la mesure notamment où les rejets polluants sont dilués par les conditions météorologiques et ne se dispersent pas tous de la même manière. Les particules en suspension et le benzo(a)pyrène sont émis par différentes sources, dont les émissions ne sont pas toujours connues avec précision. Elle est par ailleurs variable dans le temps et dans l'espace. L'analyse de toutes les données disponibles permet néanmoins de proposer des conclusions.

Cette étude, notamment à l'aide du partenariat de recherche, confirme la contribution essentielle de la combustion de biomasse à la fraction organique des particules en suspension.

Concernant le **benzo(a)pyrène**, les différentes analyses indiquent également **la contribution importante du secteur résidentiel en période froide**. De mai à septembre, les sources de B(a)P dans la vallée ont un impact faible sur les concentrations, les niveaux restent bas, inférieurs à ceux observés par exemple à la Léchère en Tarentaise, mais sont toutefois un peu plus importants sur la zone de Passy par rapport à Sallanches. En été, les taux enregistrés à la station de Passy restent du même ordre que ceux de la station de Chedde, montrant la contribution des activités industrielles pendant cette période.

Les différentes analyses, notamment à l'aide du benzo(b)naphto(2,1)thiophène, montrent que même si la station de Sallanches peut être influencée ponctuellement, la contribution du chauffage y est plus importante qu'à Passy et celle des activités industrielles moindre. **L'influence de la contribution industrielle est ainsi plus forte sur le secteur Passy, Chedde, Cités jardins par rapport à la zone Les Granges, Sallanches.**

**Les chiffres de l'inventaire d'émissions établi par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes indiquent sur les mois les plus froids une contribution d'environ 30% de l'industrie sur la commune de Passy, en 2018, tendant vers 20% en 2020 avec la baisse des émissions industrielles. Ces chiffres sont en correspondance avec les différentes mesures réalisées et pourraient représenter la part maximale de la contribution de SGL CARBON aux concentrations hivernales de la station de Passy. Compte tenu des émissions irrégulières de l'usine, il est possible que la contribution soit plus forte ponctuellement.**

L'étude des corrélations entre les concentrations de HAP et les particules liées à la combustion de biomasse sur les dernières années montre effectivement que la corrélation avec la biomasse est forte, particulièrement pour le benzo(a)pyrène et qu'elle est plus importante après 2018, ce qui traduit une baisse de la contribution de l'industriel.

## **Recommandations sur la surveillance du secteur et de l'établissement industriel SGL CARBON**

Les mesures de PM10 et PM2,5 réalisées sur le secteur montrent que les valeurs limites et l'objectif de qualité sont respectées. Elles montrent par ailleurs une faible contribution de SGL CARBON amenée à diminuer compte tenu des réductions d'émission présentées par SGL Carbon. Ainsi, même si l'ensemble des stations sont intéressantes pour une bonne description de la zone, le nombre de moyens mobilisés est très important. Dans le cadre strict de la surveillance de SGL CARBON, le dispositif de mesures des PM10 et PM2,5 pourrait probablement être allégé.

- Le site des Granges pourrait être supprimé. En effet dans ce secteur complexe, la comparaison site de proximité industrielle / site de « fond » ne donne pas d'indication claire sur la source.
- Le maintien d'un site en proximité industrielle pour les PM10 permettrait de suivre les incidents, néanmoins les mesures ont montré qu'en moyenne annuelle les niveaux sont bas.

Concernant le benzo(a)pyrène, la multiplication des points de mesures a permis de décrire la variabilité spatiale et montré que le secteur géographique dont les niveaux sont proches de la valeur cible est peu étendu et ne concerne pas la proximité industrielle. Concernant les contributions, l'étude de la variabilité spatiale n'est pas suffisante pour conclure. Les mesures de BNT2,1 ont montré que ce composé est intéressant pour mieux appréhender la contribution de l'activité industrielle. Cette piste doit donc être poursuivie. Les mesures de BNT2,1 sur le secteur « Cités jardins » ont montré également que les niveaux sont généralement supérieurs au site de Passy-Chedde, indiquant une possible contribution plus importante sur ce secteur de l'activité industrielle. En conséquence, une campagne d'évaluation plus complète pourrait être réalisée sur ce secteur (Cités jardins), en même temps que des mesures dans l'enceinte du site et/ou à l'émission, pour s'assurer d'une part de la bonne capacité de « marqueur » d'activité de ce composé, d'autre part de la position optimale du site de surveillance en proximité industrielle.

A terme, la valeur cible en B(a)P étant respectée sur le secteur en proximité industrielle, la surveillance pourrait potentiellement se focaliser sur la station urbaine, où la population exposée est plus importante, les mesures ayant montré que l'impact de l'activité industrielle est parfois du même ordre de grandeur que sur Passy-Chedde, en faisant des mesures simultanées des différents marqueurs d'activités : **levoglucosan** pour la

combustion de biomasse (ou black carbon) et **BNT2,1** pour l'activité industrielle. Dans le cadre de la surveillance de SGL Carbon, l'arrêté préfectoral prescrit une durée de 3 ans pour les mesures, les éléments ci-dessus pourront donc être confortés en fonction des résultats de 2021

# Bibliographie

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (2018) - Bilan des connaissances sur la qualité de l'air dans la vallée de l'Arve

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (2021) - Bilan détaillé Mesures de HAP et PM dans l'air ambiant dans le cadre de la surveillance de SGL CARBON – Année 2020

Chevrier F. (2016) Chauffage au bois et qualité de l'air en vallée de l'Arve : définition d'un système de surveillance et impact d'une politique de rénovation du parc des appareils anciens

Golly B. (2014) Étude des sources et de la dynamique atmosphérique de polluants organiques particulaires en vallées alpines : apport de nouveaux traceurs organiques aux modèles récepteurs. Thèse



## ANNEXE 2

### Ratios HAP en fonction des sources

Extrait de la thèse de Benjamin Golly, 2014

	Comb. bois	Emissions Diesel	Emissions Essence	Comb. Charbon	Comb. Gaz naturel	Comb. hydrocarb.	Emissions véhicul.	Indus/ Incinérateur
IP/BghiP	1,25 <sup>a</sup> 1,17 <sup>o</sup>	1 <sup>c</sup> 0,9 <sup>a</sup> 1,07 <sup>s</sup> 0,73-0,76 <sup>w</sup>	0,4 <sup>c</sup> 0,29 <sup>a</sup> 0,42-0,47 <sup>w</sup>				0,39 <sup>y</sup> 0,39-3,9 <sup>w</sup> 1,1 <sup>z</sup>	
BaP/BghiP		0,46-0,81 <sup>n</sup>	1,27 <sup>f</sup> 0,3-0,4 <sup>n</sup>				0,61 <sup>s</sup> >0,6 <sup>t,u,v</sup> 1,3 <sup>x</sup> 0,3-0,78 <sup>n</sup>	0,14-0,6 <sup>n</sup>
Chr/BeP	2,4 <sup>a</sup>	1,6 <sup>a</sup> 1,4 <sup>b</sup>	2,5 <sup>a</sup>					
BaA/BaP	1,0-1,5 <sup>a</sup> 0,1 <sup>b</sup>	0,90-1,70 <sup>a</sup> 0,864 <sup>o</sup>	0,50-0,70 <sup>a</sup>					
BaA/Chr	0,9 3 <sup>n</sup>	0,17-0,36 <sup>n</sup>	0,28-1,2 <sup>n</sup>			0,5 <sup>x</sup>	0,4-0,58 <sup>w</sup> 0,63 <sup>n</sup>	
Pyr/BaP	0,71 <sup>b</sup>	11 <sup>r</sup> 0,81 <sup>b</sup>	1,5 <sup>r</sup> 0,85 <sup>b</sup>					
Ph/ (Ph+An)	0,84 <sup>d</sup>	0,73 <sup>d</sup>	0,77 <sup>d</sup>	0,85 <sup>d</sup>	0,88 <sup>d</sup>	0,89 <sup>d</sup> 0,7 <sup>h</sup>		
FV/ (Fl+Pyr)	0,49 <sup>d</sup> 0,51 <sup>d</sup> 0,74 <sup>e</sup> 0,5 <sup>s</sup> >0,5 <sup>t,u,v</sup>	0,40 <sup>d</sup> 0,60-0,70 <sup>e</sup>	0,52 <sup>d</sup> 0,40 <sup>e</sup> 0,4-0,6 <sup>o,p</sup> 0,43 <sup>m</sup> 0,43 <sup>l</sup>	0,57 <sup>d</sup> 0,560 <sup>q</sup> >0,5 <sup>t,u,v</sup>	0,49 <sup>d</sup>	0,52 <sup>d</sup> 0,4-0,5 <sup>t,u,v</sup> 0,2-0,5 <sup>t,u,v</sup> 0,36 <sup>m</sup>	0,47 <sup>t,l</sup>	
BaA/ (BaA+Chr)	0,59 <sup>d</sup>	0,65 <sup>d</sup> 0,38-0,65 <sup>l</sup>	0,50 <sup>d</sup> 0,43 <sup>l</sup>	0,46 <sup>d</sup>	0,39 <sup>d</sup>	0,50 <sup>d</sup>	0,16-0,33 <sup>x</sup> 0,33 <sup>s</sup>	0,50 <sup>l</sup>
IP/ (IP+BghiP)	0,42 <sup>d</sup> 0,62 <sup>k</sup> 0,52 <sup>s</sup> >0,5 <sup>t,u,v</sup>	0,19 <sup>d</sup> 0,37-0,70 <sup>e,f,g,h,j</sup>	0,32 <sup>d</sup> 0,18 <sup>e,f,g,h,j</sup> 0,21 <sup>l</sup>	0,48 <sup>d</sup> 0,56 <sup>g</sup> 0,52 <sup>s</sup>	0,32 <sup>d</sup>	0,36 <sup>d</sup>		
BeP/ (BeP+BaP)		0,53 <sup>m</sup> 0,4-0,5 <sup>n</sup>	0,65 <sup>l</sup>					
BaP/ (BaP+Chr)		0,49 <sup>s</sup>						

## ANNEXE 3

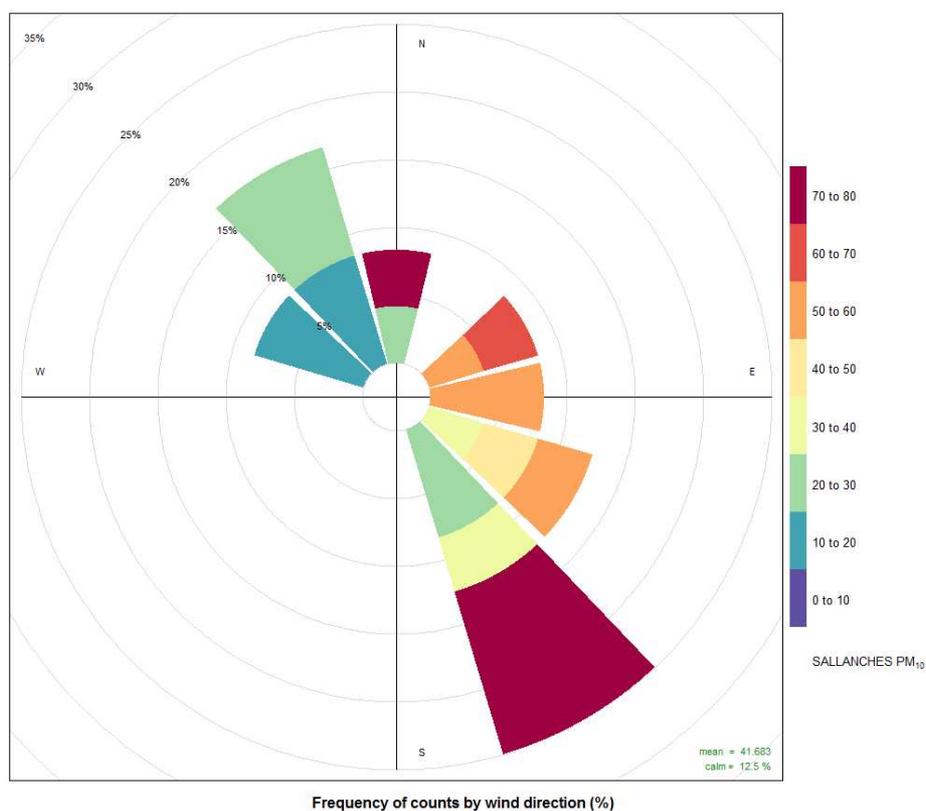
### Les roses de pollution

#### Construction et lecture

A la différence d'une rose des vents indiquant la provenance et la force des vents sur une période donnée, une rose de pollution consiste à croiser le suivi des concentrations d'un polluant atmosphérique avec les directions de vents. Cet outil permet ainsi de cerner, pour un endroit donné, une direction générale d'où proviennent préférentiellement les polluants. Il s'agit d'une étape préliminaire, mais non suffisante, à l'identification d'une source de pollution.

Pour lire une rose des vents, il faut discerner 3 paramètres :

- Les secteurs indiquant la provenance du vent (comme sur une rose des vents).
- La taille des « pétales » indiquant la fréquence des vents dans une direction donnée.
- La couleur indiquant la concentration relevée.



Ainsi, sur l'exemple ci-dessus, on peut dire, entre autres choses :

- Les vents de secteur Sud-Sud Est ont soufflé 30% du temps. Sur ce secteur les concentrations (ici de PM10) étaient comprises entre 20 et 30 µg/m<sup>3</sup> environ 8% du temps, entre 30 et 40 µg/m<sup>3</sup> environ 5% du temps et enfin entre 70 et 80 µg/m<sup>3</sup> environ 13% du temps.
- Les concentrations les plus élevées ont été relevées par vent de secteur Sud-Sud Est (13% du temps donc) mais également par secteur nord mais seulement 5 % du temps.

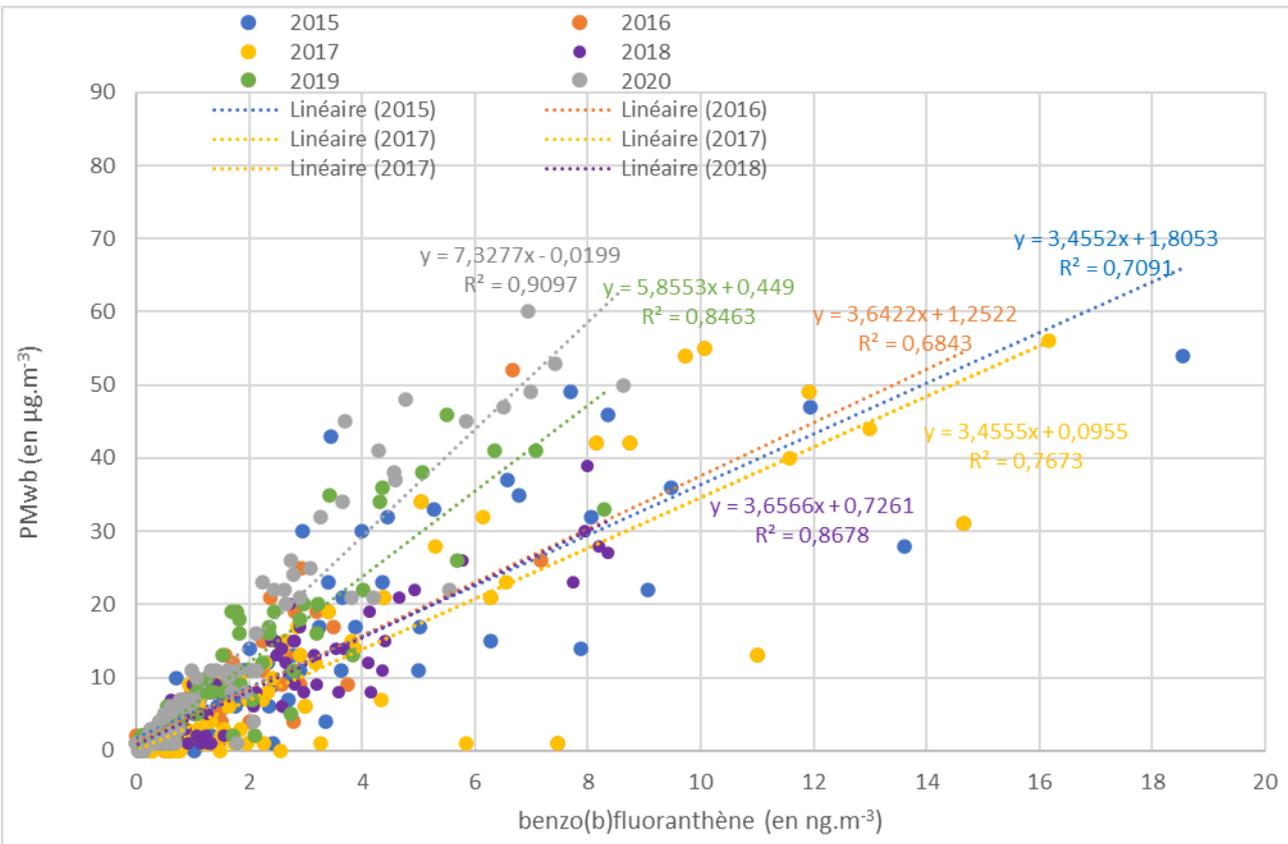
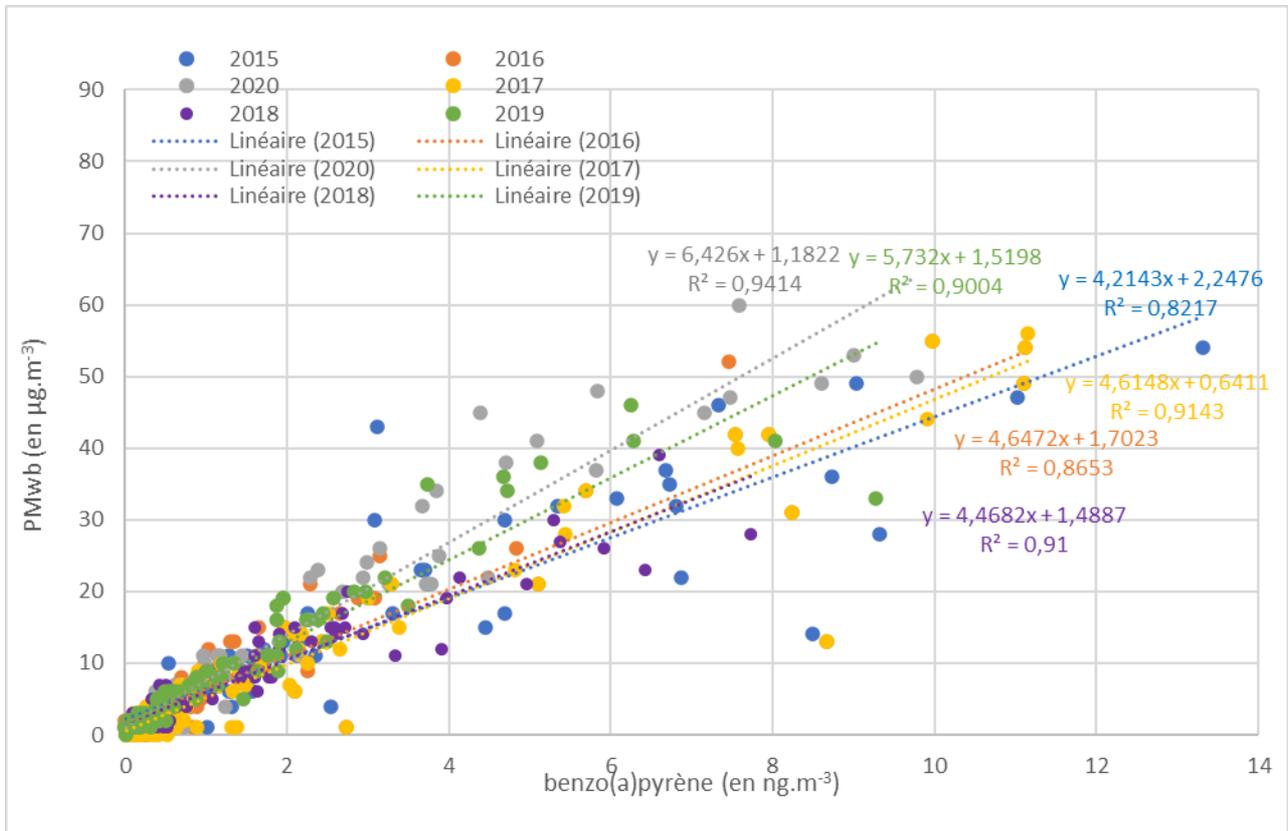
## ANNEXE 4

### Récapitulatif des sites et mesures utilisés

Site	Adresse	Paramètres mesurés	Dates de mesures
<b>Plateau d'Assy</b>	Rue de l'église	HAP (sous forme particulaire)	Mi-janvier à mi-mars 2020
<b>Les Cités Jardins</b>	Salle « Les Cités Jardin », avenue du Mont-Blanc	HAP (sous forme particulaire)	Mi-janvier à mi-mars 2020
<b>Sallanches Fixe</b>	Avenue Albert Gruffat	HAP (sous forme particulaire) + PM10 + direction et vitesse du vent	Année 2020 entière
<b>Passy Les Granges</b>	« Les Granges de Passy », 670, chemin des Vrelets	HAP (sous forme particulaire ET gazeuse) + PM10 + PM2,5 + direction et vitesse du vent	Année 2020 entière
<b>Passy Chedde</b>	Rue Paul Corbin	HAP (sous forme particulaire ET gazeuse) + PM10 + PM2,5 + mesures EDYTEM (HAP, EC/OC, ions)	Année 2020 entière
<b>Passy fixe</b>	Rue Salvatore Allende	HAP (sous forme particulaire) + PM10 + PM2,5 + Carbone élémentaire et organique + direction et vitesse du vent + mesures EDYTEM (HAP, EC/OC, ions)	Année 2020 entière
<b>Site SGL</b>	Place Aristide Berges	Météo (Direction et vitesse du vent, température, pression atmosphérique, humidité, pluviométrie)	Année 2020 entière (démarrage au 01/02)

## ANNEXE 5

### Corrélation entre 2 HAP et les concentrations de particules liées à la combustion de biomasse à Passy



**ANNEXE 6**  
**Rapport complet**  
**Partenariat avec le laboratoire EDYTEM**  
**Projet ECAPI**

---

Evolution des caractéristiques chimiques des aérosols à  
proximité de sources industrielles  
(ECAPI)

---

**Rédacteur : J-L Besombes**

**Collaborations : EDYTEM, IGE, ATMO AURA**

## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>CONTEXTE ET OBJECTIFS .....</b>	<b>2</b>
1.1	CONTEXTE .....	2
1.2	RAPPEL DES OBJECTIFS DU PROJET .....	3
<b>2</b>	<b>SITES D'ETUDE ET METHODOLOGIES UTILISEES.....</b>	<b>3</b>
2.1	PRESENTATION DES SITES D'ETUDE .....	3
2.2	BILAN DES ECHANTILLONS ETUDIES (PREVISIONNELS/REELS) .....	4
2.3	PARAMETRES CHIMIQUES ANALYSES .....	5
<b>3</b>	<b>EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DURANT LA PERIODE D'ETUDE .....</b>	<b>5</b>
3.1	CAS DES PM10/PM2.5.....	5
3.2	CAS DES INDICATEURS DE SOURCES.....	7
<b>4</b>	<b>SPECIATION CHIMIQUE DES PM10 .....</b>	<b>9</b>
4.1	ETUDE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES PM10.....	9
4.2	CARACTERISATION DE LA COMPOSITION DE LA MATIERE ORGANIQUE DES PM10. ....	11
4.3	INFLUENCE DE SOURCE D'HAP : APPROCHE RATIO/RATIO .....	12
<b>5</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>14</b>
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>15</b>
	<b>ANNEXE 1.....</b>	<b>17</b>
	<b>ANNEXE 2.....</b>	<b>18</b>

# 1 Contexte et objectifs

## 1.1 Contexte

Les vallées alpines sont soumises régulièrement à des phénomènes de pollution atmosphérique, suscitant une préoccupation croissante des populations. La vallée de l'Arve en Haute-Savoie est particulièrement touchée depuis plusieurs années par ces phénomènes de pollution atmosphérique. Elle concentre dans un espace étroit toutes les activités humaines (résidentielles, industrielles, liées aux transports) et les émissions de polluants en résultant. Depuis 2012 la vallée de l'Arve bénéficie d'un Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) assez unique en France puisqu'il ne cible pas une seule agglomération mais s'étend sur un large territoire (41 communes) pour 160000 habitants concernés (DREAL Auvergne Rhône Alpes 2019). Ce PPA révisé en 2019 a pour objectifs d'engager des actions permettant de réduire les émissions de polluants sur le territoire, la vallée étant particulièrement soumise à des problématiques de pollution aux particules fines et aux oxydes d'azote.

En hiver, des épisodes de pollution se caractérisent particulièrement par des dépassements du seuil de  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$  en concentration journalière des polluants particulaires de type PM10 (particules de diamètre aérodynamique inférieur à  $10 \mu\text{m}$ ). Ainsi, le nombre de jours de dépassement annuel sur le site de mesure de Passy (Station de surveillance de l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air Atmo Auvergne Rhône Alpes, Atmo AURA) qui était de l'ordre de 50 en 2010 a régulièrement baissé ces dernières années pour se situer pour la première fois en 2017 en dessous du seuil réglementaire de 35 jours par an (21 jours de dépassement). Associée à cette pollution particulaire, la vallée est également impactée par des niveaux relativement importants de composés de la famille des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) présents sur ces particules PM10. Ceci est illustré par des concentrations moyennes annuelles en Benzo(a)Pyrene (BaP), HAP dont les concentrations sont réglementées) qui excèdent régulièrement la valeur cible de  $1 \text{ ng.m}^{-3}$  avec des niveaux moyens compris entre  $1,73 \text{ ng.m}^{-3}$  en 2013 et  $1,11 \text{ ng.m}^{-3}$  en 2018. Dans l'état actuel des connaissances, la vallée de l'Arve constitue ainsi le territoire de la région Auvergne Rhône-Alpes le plus impacté par ce type de polluant.

Les bilans d'émission établis par Atmo AURA (Atmo AURA, 2019) ont montré que dans les vallées, le secteur résidentiel-tertiaire contribuait largement aux émissions de PM10 avec une contribution de plus de 70%. Pour les HAP en revanche, si ce secteur reste majeur, certaines activités industrielles peuvent apparaître comme des émetteurs importants. C'est le cas notamment sur le secteur de Passy où est présent un site industriel dont l'une des activités concerne la transformation de matériaux carbonés. Cependant, ces bilans d'émission ne peuvent permettre de quantifier à eux seuls l'influence des sources sur les concentrations atmosphériques observées car le lien entre émissions et concentrations sur un site donné est dépendant de nombreux phénomènes (dispersion atmosphérique, la multiplicité des sources...).

Ces quinze dernières années ont vu se développer des outils d'analyse qualitative et quantitative de l'influence des sources d'émissions sur les concentrations atmosphériques de PM10 et de leurs constituants basés sur la caractérisation de la composition chimique des particules. L'intégration dans des modèles dits récepteur de traceurs ou indicateurs de sources de PM10 permettent alors de proposer une quantification de la contribution des sources. Si les atmosphères des vallées alpines ont servi de cadre aux développements et à la mise en application de certaines de ces méthodologies, la plus grande part des travaux menés dans la

vallée de l'Arve avait pour objectif de préciser l'influence de la combustion de la biomasse (Chevrier 2016a, 2016b, Bonvalot 2016, Jaffrezo 2018, Allard 2018).

Dans la plupart des modèles récepteurs utilisés, les sources industrielles sont appréhendées par l'étude des métaux présents au sein de l'aérosol atmosphérique (Ebert 2012, Chung 2012, Waked 2014). Or, si l'utilisation de traceurs métalliques peut-être adaptée au cas de certaines activités spécifiques (pétrochimie, métallurgie), elle peut être insuffisante ou non exempte de facteurs de confusion vis-à-vis d'autres activités industrielles. Les sources industrielles spécifiques présentes dans les vallées alpines ont fait l'objet de peu d'étude. Le projet CATOSI conduit en 2013 (Coll. LCME-SGL Carbon-Atmo AURA, co-financement Arc Environnement Région Rhône-Alpes) a permis de caractériser le profil chimique des émissions de PM10 sur le site industriel de Passy dont les activités sont axées sur la transformation de matériaux carbonés. Cette activité historiquement implantée dans plusieurs vallées génère des émissions de poussières et de HAP par les différentes étapes de cuisson et de graphitisation à haute température. Ce projet a mis en évidence la nécessité d'explorer la fraction organique des PM10 pour définir une empreinte chimique caractéristique de ce type d'activité de chimie du carbone. Il a de plus permis l'identification de composés de la famille des thiophènes comme traceurs de cette activité industrielle (Golly 2015, 2014). Cependant si ces résultats ont pu être intégrés aux approches modèles récepteurs permettant de définir l'influence des différentes sources sur les niveaux de PM10 sur le site de Passy, il reste encore difficile de préciser l'influence réelle des sources industrielles sur les concentrations atmosphériques en HAP

## **1.2 Rappel des objectifs du projet**

Le projet ECAPI a pour objectifs de préciser l'influence de la source d'émission industrielle sur les niveaux de HAP sur 2 sites d'observation localisés sur Passy ; un site de proximité industrielle (lieudit Chedde) et un site de fond urbain localisé au centre de Passy distant de moins de 2 km. En s'inscrivant également dans l'étude plus large menée par Atmo AURA sur les HAP dans la vallée de l'Arve, ce projet doit permettre d'évaluer les conditions de dispersion des traceurs de la source industrielle dans le cadre particulier du site de Passy.

## **2 Sites d'étude et méthodologies utilisées**

### **2.1 Présentation des sites d'étude**

Le projet ECAPI s'appuie sur 2 sites de prélèvement instrumentés par Atmo AURA et installés dans le secteur d'étude, que ce soit dans le cadre de l'observatoire de la qualité de l'air (Station de fond urbain de Passy) ou que ce soit dans le cadre de la surveillance environnementale du site industriel (Station de proximité à Chedde). La figure 1 indique le positionnement des 2 stations ainsi que celui du site industriel SGL Carbon.



Figure 1 : Plan de disposition des sites de collecte des PM10.

Une campagne d'échantillonnage s'est déroulée du 11 janvier au 15 mars 2020 afin d'obtenir des prélèvements journaliers (0h-24h) à l'aide d'un préleveur haut débit (Digitel DA80, 30 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) équipé d'une tête de prélèvement PM10. Les particules ont été collectées sur des filtres en fibre de quartz initialement conditionnés par traitement thermique (500°C, 8h).

La disponibilité du préleveur sur le site de fond urbain de Passy permettait de disposer de 4 filtres par semaine pour le projet ECAP, les autres échantillons étant destinés au suivi réglementaire des HAP. Sur le site de Chedde, un préleveur dédié à l'étude a été utilisé permettant la collecte d'échantillon chaque jour.

Cet échantillonnage a de plus été complété par les dispositifs de mesure en ligne présents sur les stations de Atmo AURA permettant notamment le suivi temporel des concentrations massiques des PM10, PM2,5 et des polluants gazeux de type oxydes d'azote.

## 2.2 Bilan des échantillons étudiés (Prévisionnels/réels)

Initialement le projet ECAP prévoyait une sélection d'échantillons pour la réalisation d'une caractérisation chimique la plus vaste des PM10 sur 25 échantillons par site. Le bilan des prélèvements réalisés durant la période d'observation fait état de la disponibilité de 42 échantillons sur le site de Passy et de 51 échantillons sur le site de Chedde (Figure 2).

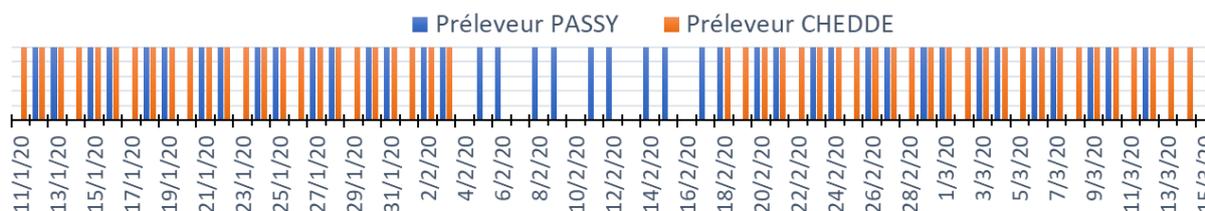


Figure 2 : Bilan des échantillons collectés sur la période du 11 janvier au 11 mars. L'absence d'échantillon disponible sur le site de Chedde du 4 février au 17 février est due à une panne de l'échantillonneur

Un premier choix d'échantillons retenu sur la base des niveaux de concentrations en PM10 mesurées sur le site a conduit à réaliser l'ensemble des analyses (caractérisation de la fraction ionique et de la fraction organique) sur 17 échantillons de Passy et 26 échantillons du site de Chedde. Afin de préciser les premières tendances observées sur ces premières analyses, la spéciation de la composante organique a été réalisées sur l'ensemble des échantillons des 2 sites

### **2.3 Paramètres chimiques analysés**

Les analyses chimiques conduites sur les échantillons ont été réalisées sur les plateformes analytiques des laboratoires IGE (Plateforme AirOSol) et d'Edytem (Plateforme PTAL). Ces analyses concernaient la quantification :

- du carbone organique et carbone élémentaires OC/EC par méthode thermo-optique
- des espèces ioniques après extraction en phase aqueuse et analyse par chromatographie ionique
- des composés de la famille des monosaccharides anhydres et des polyols après extraction en phase aqueuse et analyse par HPLC-PAD
- des composés de la famille des HAP après extraction en phase organique et analyse par HPLC-Fluorescence UV
- des composés de la famille des alcanes, des hopanes et des benzo-naphto-thiophene après extraction en phase organique et analyse par GC-MS.

## **3 Evolution des concentrations durant la période d'étude**

### **3.1 Cas des PM10/PM2.5**

Sur la période d'étude les évolutions de concentrations massiques journalières en PM10 et PM2,5 sur les sites de Passy et de Chedde sont présentées sur les Figure 3 et Figure 4. Les concentrations présentent des évolutions relativement similaires sur les deux sites laissant apparaitre 2 périodes assez distinctes. Du 11 au 28 janvier, des concentrations journalières importantes sont observées sur les deux sites avec des valeurs maximales de 80  $\mu\text{g.m}^{-3}$  et 68  $\mu\text{g.m}^{-3}$  respectivement en PM10 et PM2,5 sur le site de Passy. Sur le site de Chedde les valeurs maximales sont plus faibles et représentent 66  $\mu\text{g.m}^{-3}$  de PM10 et 54  $\mu\text{g.m}^{-3}$  en PM2,5. Cette première période se caractérise par une situation météorologique froide associée à des conditions de dispersion assez limitées sur le site de Passy ( $T_{\text{moyen}} = 2,2^{\circ}\text{C}$ , cf roses vents en annexe 1).

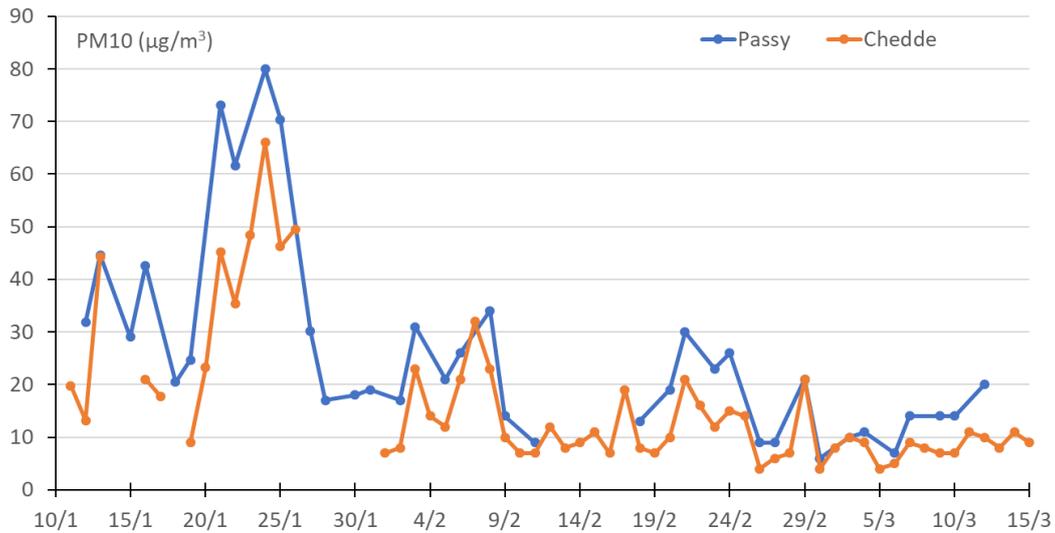


Figure 3 : Evolution des concentrations journalières de PM10 sur la période du 10 janvier au 15 mars 2020 sur les sites de Passy et Chedde

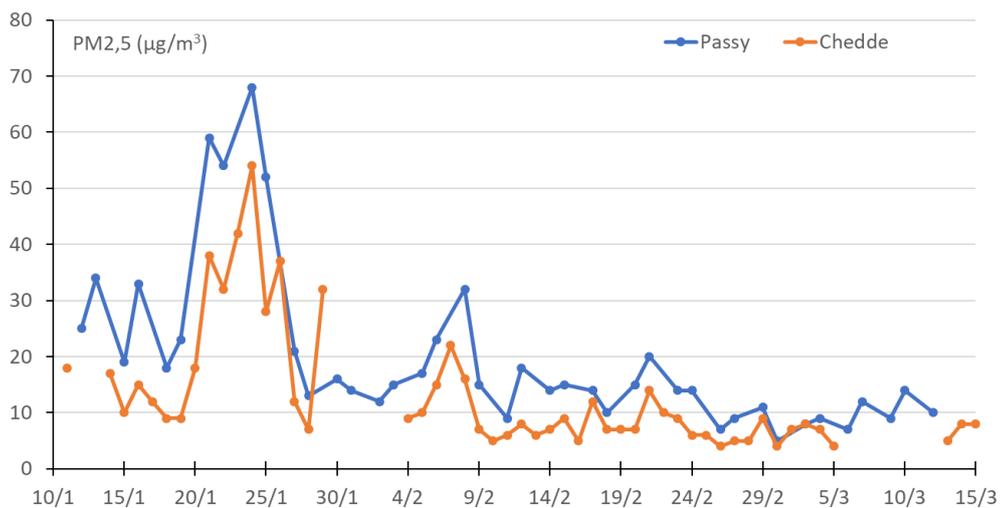


Figure 4 : Evolution des concentrations journalières de PM2,5 sur la période du 10 janvier au 15 mars 2020 sur les sites de Passy et Chedde

Au-delà du 29 février les concentrations particulières journalières restent limitées et n'excèdent pas 34 et 32  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  de PM10 et 32 et 22  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  de PM2,5 pour respectivement les sites de Passy et de Chedde. Ce comportement peut être relié à des conditions de dispersion plus importantes à partir du 30 janvier.

Sur l'ensemble de la période d'observation les valeurs moyennes en PM sur les deux sites s'établissent respectivement pour Passy et Chedde à 25,9 et 16,3  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  en PM10 et 19,7 et 13,1  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  en PM2,5. Si ces valeurs moyennes peuvent apparaître proche, l'ensemble des données illustre toutefois un écart significatif observé entre les deux sites (Figure 5). Ainsi les niveaux de PM observés sont plus importants sur le site de fond de Passy que sur le site de proximité industrielle de Chedde durant la période d'étude.

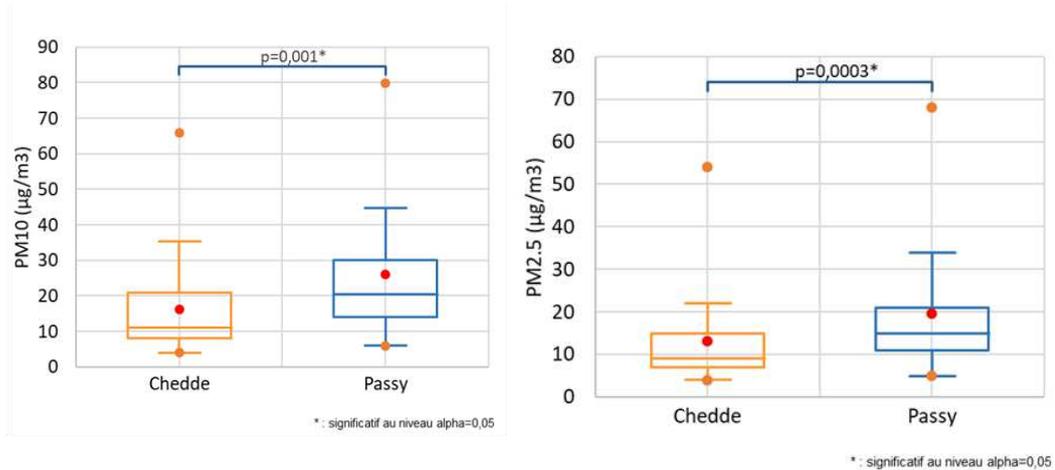


Figure 5 : Box-plot des concentrations en PM10 et PM2,5 et comparaison statistique (test de Mann-Whitney) des moyennes sur la période du 10 janvier au 15 mars 2020

### 3.2 Cas des indicateurs de sources

Les évolutions temporelles des indicateurs de la fraction organique des PM10 représentée par l'OC (carbone organique) et l'EC (carbone élémentaire) sont présentées en Annexe 2. La dynamique observée est proche de celle des PM mettant en évidence des niveaux de concentrations régis par les deux situations de dispersion précédemment décrites. Elle montre également des concentrations journalières très majoritairement plus élevées sur le site de Passy. Sur l'ensemble de la période les concentrations moyennes en OC sont de  $9,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  et  $4,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  respectivement pour les sites de Passy et de Chedde. Pour l'EC les valeurs moyennes s'élèvent à  $1,51 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  à Passy et  $0,98 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  à Chedde.

Les composés de la famille des HAP présentent le même comportement que l'OC et l'EC avec des concentrations journalières significativement plus importantes sur le site de Passy notamment pour la première partie de la période d'observation jusqu'au 29 janvier. En tenant compte de l'ensemble de la période d'étude, la concentration moyenne en HAP sur le site de Passy est plus de 2 fois supérieure à celle du site de Chedde avec respectivement  $14,1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$  et  $6,7 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ . Le B(a)P suit la même tendance et présente des concentrations moyennes de  $1,4 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$  à Passy et  $0,6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$  à Chedde (Figure 6).

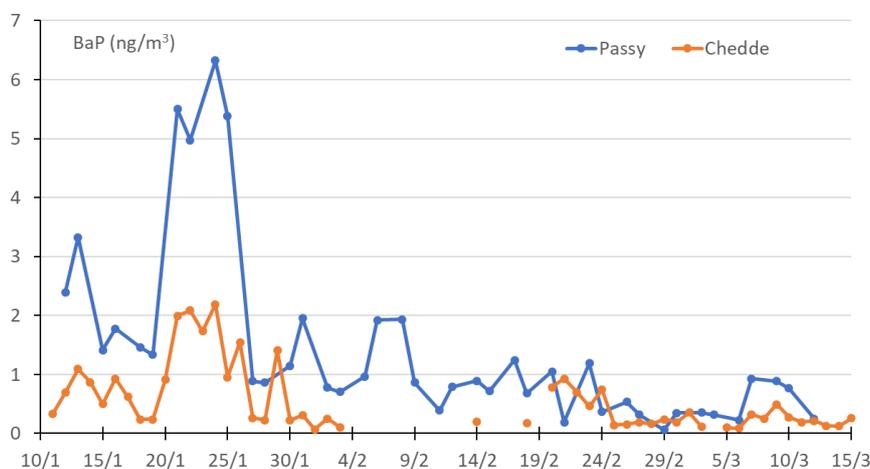


Figure 6 : Evolution des concentrations journalières de B(a)P sur la période du 10 janvier au 15 mars 2020 sur les sites de Passy et Chedde.

Parmi les composés constitutifs de l'OC, le Lévo-glucosan est reconnu comme traceur de la combustion de biomasse. Les études précédentes conduites dans la vallée de l'Arve ont montré l'importance de ce composé dans la matière organique des PM en période hivernale notamment sur le site de Passy (Golly 2014, Chevrier 2016). Les concentrations observées dans le cas de cette étude montrent des différences notables entre les deux sites. Ainsi les concentrations journalières mesurées sur le site de Passy s'étendent de 304 à 4439 ng.m<sup>-3</sup> et avec une concentration moyenne de 1515 ng.m<sup>-3</sup>. Dans le cas du site de Chedde, la concentration journalière moyenne n'est que de 646 ng.m<sup>-3</sup> et les valeurs n'excèdent pas 1914 ng.m<sup>-3</sup> (Figure 7)

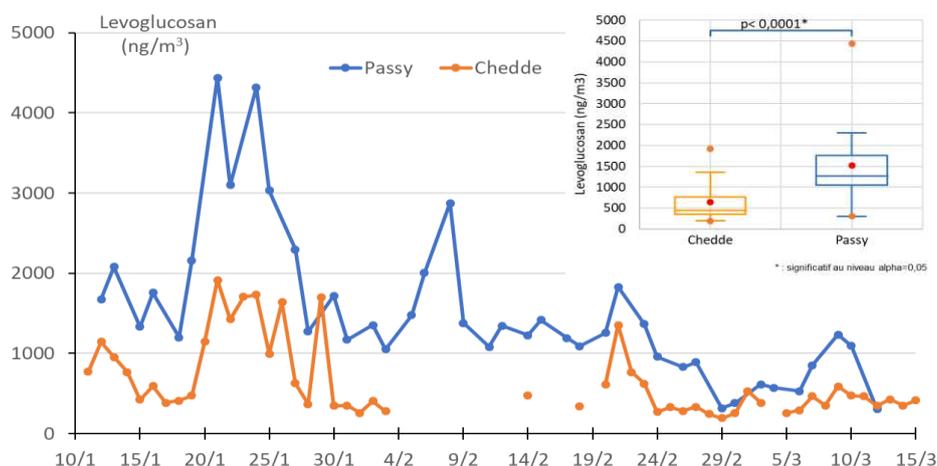


Figure 7 : Evolution et box-plot des concentrations journalières de Levoglucosan sur la période du 10 janvier au 15 mars 2020 sur les sites de Passy et Chedde.

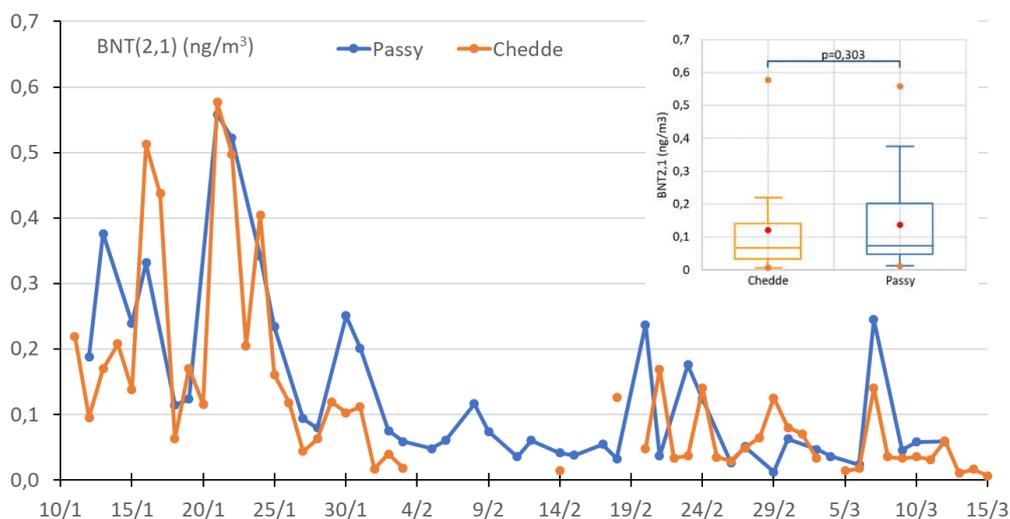


Figure 8 : Evolution et box-plot des concentrations journalières de BNT(2,1) sur la période du 10 janvier au 15 mars 2020 sur les sites de Passy et Chedde.

Un comportement différent est observé dans le cas du BNT(2,1), composé identifié comme marqueur d'activité industrielle de type « chimie du carbone » (Golly 2014, 2015). En effet aucun écart significatif n'est observé entre les 2 sites (Figure 8). La concentration journalière moyenne est de 0,14 ng.m<sup>-3</sup> et 0,12 ng.m<sup>-3</sup> respectivement sur les sites de Passy et Chedde. Les concentrations maximales sont observées lors de la période météorologique correspondant aux conditions limitées de dispersion et s'établissent à 0,56 ng.m<sup>-3</sup> à Passy et 0,58 ng.m<sup>-3</sup> sur le site de Chedde. Pour ce composé et plus globalement pour l'ensemble des HAP soufrés, durant cette première période les concentrations maximales sont observées sur le site de proximité de l'activité industrielle. Au-delà du 29 janvier des phénomènes de hausse de concentrations sont observés, impactant de façon plus ponctuelle l'un ou l'autre site. Le comportement différencié du Lévo-glucosan et du BNT(2,1) illustre des influences de sources très différentes sur les 2 sites. L'influence d'émission plus importante de la source combustion de biomasse semble apparaître sur le site de Passy par rapport au site de Chedde. En revanche, l'impact des émissions industrielles est relativement proche pour les deux sites.

## 4 Spéciation chimique des PM10

### 4.1 Etude de la composition chimique des PM10.

Dans le cadre de ce projet, une description de la composition chimique des PM10 a pu être réalisée sur une série limitée d'échantillons (17 à Passy et 26 à Chedde). Les échantillons ont été choisis sur la base des niveaux de concentration de PM10 observés et sont issus des périodes du 11 au 28 janvier 2020 et du 20 février au 1<sup>er</sup> mars 2021.

Les analyses effectuées permettent une représentation de la fraction organique et de la fraction ionique au sein des particules atmosphériques. La représentation moyenne de la contribution des différentes fractions à la concentration journalière des PM10 enregistrée sur les sites est donnée sur la Figure 9.

La fraction de la matière organique (OM) de l'aérosol est obtenue sur la base de la mesure du carbone organique (OC) à laquelle a été appliqué le facteur de conversion de 1,8. Ce facteur de conversion permet de prendre en compte le niveau de fonctionnalité de la matière organique. La valeur retenue dans le cas de cette étude correspond à celle déjà utilisée sur des précédentes études menées dans le cadre de site de vallées alpines (Favez 2010, Golly 2014, Piot 2011). Elle a de plus été confirmée dans le cas particulier du site de Passy en période hivernale lors des campagnes de mesure réalisées dans le cadre du projet DECOMBIO (Chevrier 2016). Cette valeur suggère une contribution importante de composés oxydés au sein de la matière organique des aérosols.

La représentation présentée sur la Figure 9 est établie sur la base d'une spéciation non exhaustive de la composition chimique et fait donc apparaître une fraction indéterminée. Cette fraction représente en moyenne 20 et 26% de la masse des PM10 mesurée respectivement sur les sites de Passy et de Chedde. Alors même que le nombre d'espèces analysées est moindre, ces valeurs sont légèrement inférieures à celles qui avaient été déterminées lors du projet CATOSI sur la période de janvier à mars 2013 sur le site de Passy (Golly 2014). Cette fraction indéterminée est liée à la fois au panel de composés analysés, à la valeur de conversion OM/OC utilisée et au mode d'évaluation des taux de PM10 par mesure TEOM-FDMS prenant en compte la fraction semi volatile et utilisée sur les 2 sites.

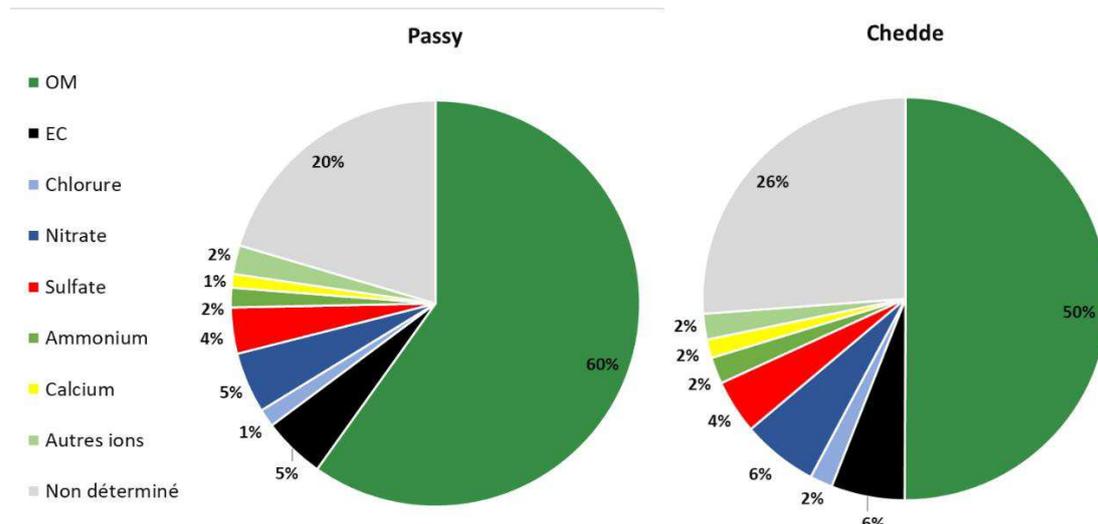
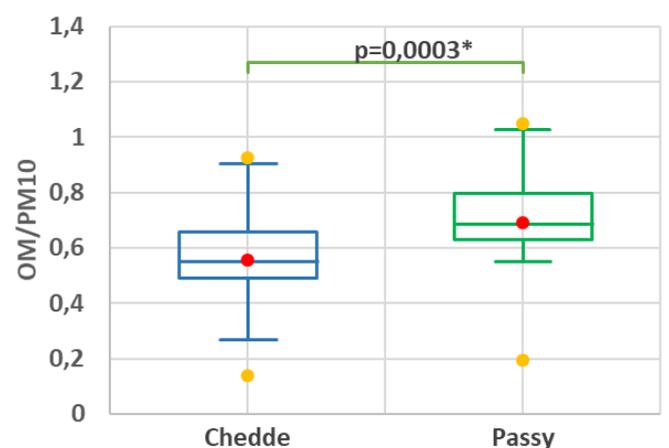


Figure 9 : composition chimique moyenne des PM10 sur les sites de Passy (n=16) et de Chedde (n=22)

La composition chimique des PM10 fait apparaître une prédominance forte de la matière organique (OM) sur la masse des PM10. Ce constat est en accord avec l'ensemble des observations précédentes menées dans la vallée de l'Arve lors de campagnes d'échantillonnage en période hivernale. Si les valeurs observées restent proches de celles rapportées lors des projets CATOSI et DECOMBIO, une différence apparaît entre les deux sites avec des contributions moyennes de l'OM à la concentration des PM10 de 60 et 50% pour respectivement les sites de Passy et de Chedde. En revanche la part d'EC reste similaire ainsi que celle des composés ioniques analysés. La fraction ionique représente 15 et 20% suivant le site et est dominée par le nitrate. Ces résultats sont en accord avec les données précédemment rapportées sur le site de Passy lors des projets précédents.

L'extension des analyses de la composante organique à l'ensemble des échantillons collectés durant le projet ECAPI confirme la différence de contribution de l'OM sur la masse des PM10 (Figure 10). Cette différence apparaît significative et peut illustrer des influences de sources différentes sur les 2 sites.



\* : significatif au niveau alpha=0,05

Figure 10 : Box-plot de la contribution de l'OM à la concentration en PM10 sur les sites de Chedde (n=35) et Passy (n=36) et comparaison statistique (test de Mann-Whitney) sur la période du 10 janvier au 15 mars 2020.

## 4.2 Caractérisation de la composition de la matière organique des PM10.

La spéciation de la matière organique des PM10 a été réalisée sur l'ensemble des échantillons collectés. L'ensemble des composés identifiés (près de 100 espèces) représente respectivement 13% et 11% de la matière organique des PM échantillonnés sur le site de Passy et de Chedde.

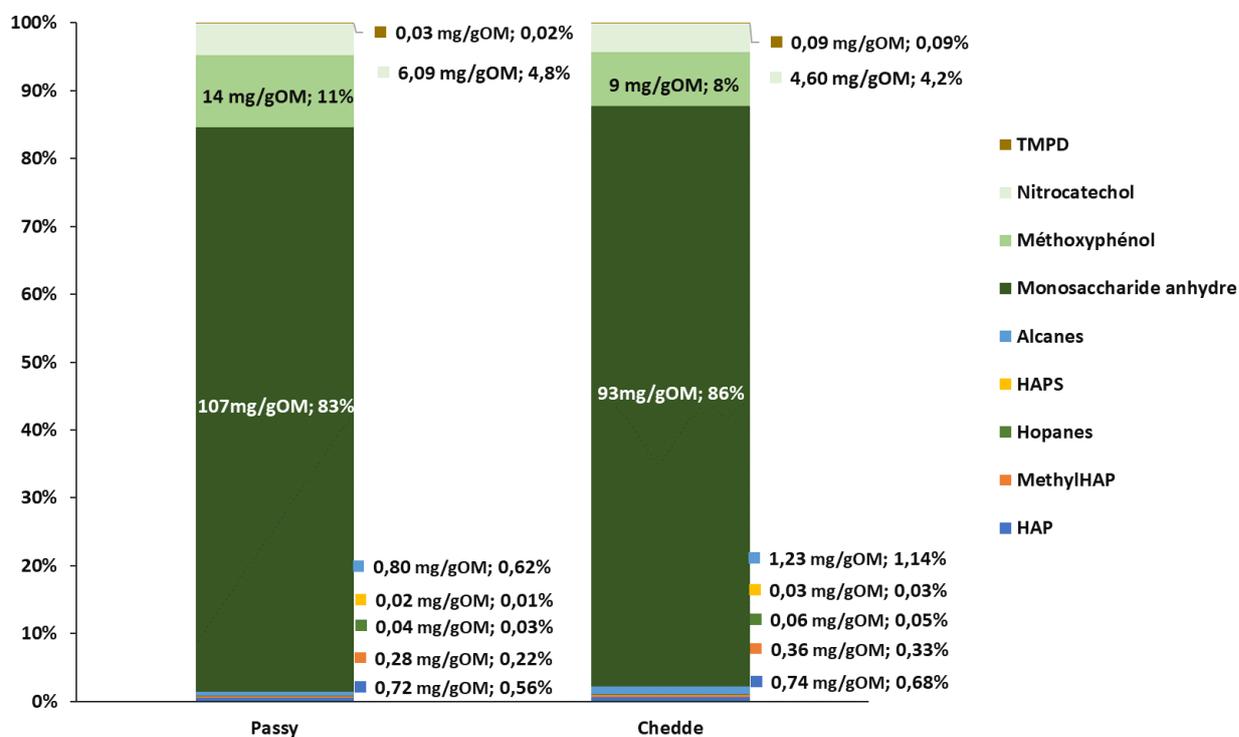


Figure 11 : Bilan de masse moyen de la spéciation de la matière organique identifiée sur les sites de Passy (n= 41) et de Chedde (n=48).

Au sein de cette fraction identifiée, une prédominance des composés marqueurs de la combustion de la biomasse est observée sur les deux sites. Ainsi les monosaccharides anhydres regroupant le Levoglucosan et ses 2 isomères, traceur univoque de la combustion de biomasse (Bhattarai et al., 2019; Simoneit et al., 1999) constituent la famille la plus abondante avec 107 mg/gOM sur le site de Passy et 93 mg/gOM sur le site de Chedde. Suit ensuite la famille des méthoxyphénols en grande partie issue de la pyrolyse de la lignine (Vicente et Alves, 2018) avec respectivement 14 et 9 mg/gOM sur ces mêmes deux sites. Enfin, dans une moindre mesure, les composés de type nitrocatechol considérés comme traceurs de l'aérosol secondaire de combustion de biomasse (Bruns et al., 2016, Iinuma et al., 2010) représentent 6,1 mg/gOM à Passy et 0,1 mg/gOM à Chedde.

Le site de Passy présente systématiquement une contribution de ces familles de composés à l'OM supérieure à celle observée à Chedde. Si les valeurs moyennes apparaissent proches, elles traduisent toutefois un écart significatif des séries de données entre les deux sites pour les deux familles les plus importantes, les monosaccharides anhydres et les méthoxyphénols. Ce résultat semble indiquer une influence plus forte sur la composante organique des PM10 de la source combustion de biomasse sur le site de Passy même si celle-ci demeure importante

également sur Chedde. Ceci peut de plus être relié également à la fraction d'OC au sein des PM10 plus importante sur Passy.

Au sein de la matière organique particulaire, les HAP représentent 0,72 et 0,74 mg/gOM pour respectivement les sites de Passy et de Chedde. Pour autant l'ensemble des données HAP ne permet pas de conclure à un écart significatif entre les deux sites (Figure 10). Les composés de type hydrocarbures polycycliques soufrés (HAPS) comprenant le BNT2,1 contribuent plus faiblement à l'OM avec des valeurs moyennes allant de 0,02 mg/gOM sur le site de Passy à 0,03 mg/gOM sur celui de Chedde. Les données obtenues sur la période d'étude montrent toutefois un écart significatif pour cette famille de composés entre les deux sites (Figure 10). Le résultat est identique si l'analyse statistique est réalisée sur la base de la contribution du seul BNT2,1.

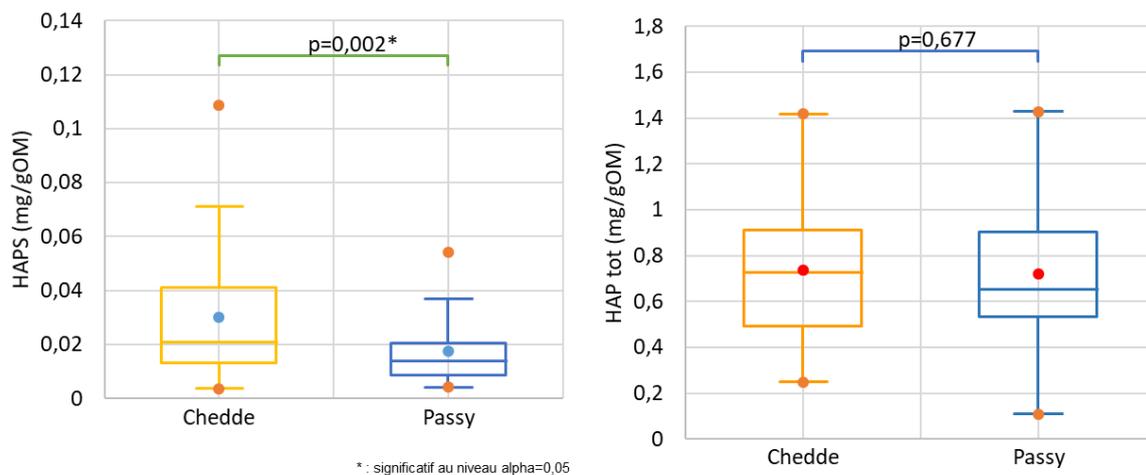


Figure 12 : Box-plot de la contribution des composés de la famille des HAP soufrés (HAPS) et des HAP totaux à l'OM sur les sites de Chedde (n= 50) et Passy (n=41) et comparaison statistique (test de Mann-Whitney) sur la période du 10 janvier au 15 mars 2020.

Ainsi le comportement différencié de ces deux familles de composés illustre l'influence plus forte de la source industrielle sur le site de Chedde. Toutefois cette influence plus importante ne s'accompagne pas d'une contribution plus élevée des composés de la famille des HAP dans la fraction organique des PM10.

#### 4.3 Influence de source d'HAP : Approche Ratio/ratio

L'étude qualitative des influences de sources peut être conduite au travers de représentations de type ratio-ratio consistant à projeter dans un plan les rapports entre espèces obtenues sur des échantillons d'atmosphère ambiante et les comparer avec les mêmes rapports obtenus à l'émission des différentes sources. Cette approche peut s'appliquer pour l'analyse des sources d'une même famille de composés comme les HAP (Figure 13).

Les études précédentes menées dans la vallée de l'Arve ont permis de compléter ce type de représentation en définissant les points caractéristiques des émissions industrielles de type « Chimie du carbone » (Golly, 2014). De plus, les émissions liées à la combustion de bois dur étaient décrites par des données de la littérature de 2004 issues d'études américaines. Dans le cadre de cette étude, des données plus récentes ont été utilisés pour définir les points liés à la combustion de biomasse. Ces points ont été définis à partir de mesures de caractérisation des émissions réalisées sur des appareils de chauffage au bois labellisés Flamme verte 4 et 5

étoiles (Projets ADEME, CHAMPROBOIS 2014 et Albinet 2021) plus représentatifs du parc d'appareils utilisés en France.

La Figure 13 présente la projection des données de concentration ambiantes des sites de Passy et Chedde obtenues à partir des données de cette étude. Quelques données disponibles sur Sallanches ont également été rajoutées

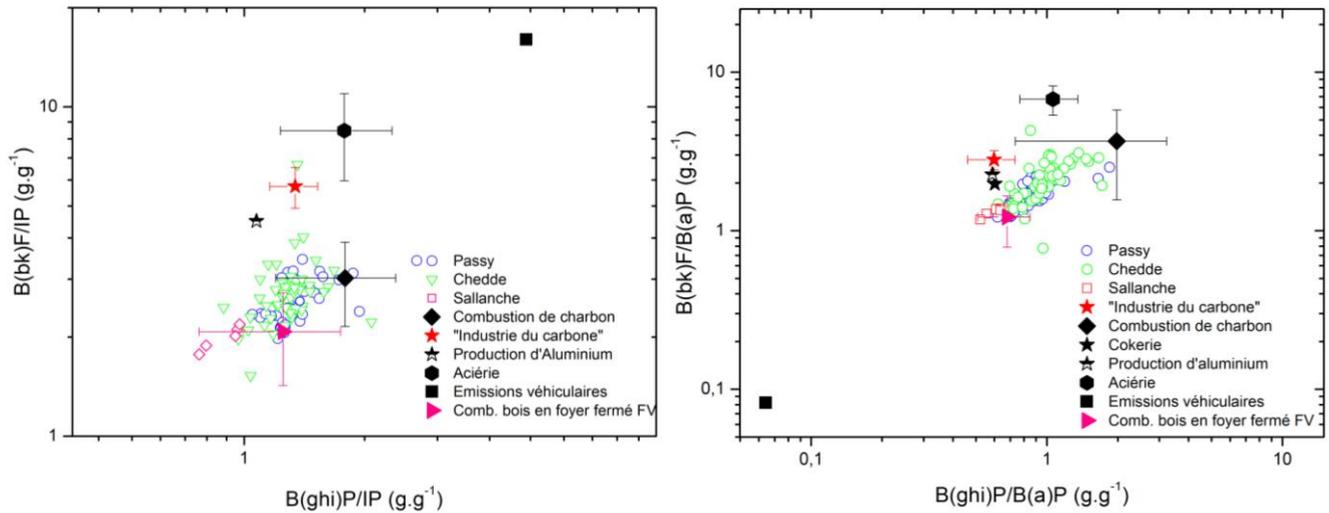


Figure 13 : Etude Ratio-ratio des benzofluoranthènes ( $B(bk)F$ ) et du Benzo(ghi)Perylene ( $B(ghi)P$ ) normalisés par l'IndenoPyrene (IP) et le Benzo(a)pyrene (BaP) pour l'étude de l'influence des sources de HAP pour les sites de Passy, Chedde et Sallanche. Les données ambiantes sur Passy ( $n = 41$ ) et Chedde ( $n = 51$ ) sont issues de cette étude. Les données ambiantes sur Sallanches ( $n = 5$ ) sont issues de l'étude de ATMO AURA. Les références des points Combustion de charbon, Cokerie, Production d'aluminium, Industrie du Carbone, Acierie, Emissions véhiculaires voir Golly (2014). Référence du point Comb. bois en foyer fermé FV : CHAMPROBOIS 2014 et Albinet 2021.

Les approches ratio-ratio des composés de la famille de HAP menées à partir des données de cette étude, montrent des dispersions des points relativement proches pour les sites de Passy et de Chedde. Les points se situent dans une zone comprise entre le point caractéristique des émissions de combustion de bois et ceux illustrant des émissions industrielles dont l'industrie du carbone. Quel que soit la représentation choisie, la dispersion des points ne permet pas de mettre en évidence des influences fortes des émissions véhiculaires sur les concentrations en HAP. Si les deux sites d'étude apparaissent fortement impactés par la combustion du bois, l'influence de l'activité industrielle semble plus marquée ponctuellement sur le site de Chedde. A l'opposé les données du site de Sallanches se distinguent des autres sites en se situant au plus proche du point caractéristique de la combustion de bois (ratio HAP/BaP) et les plus éloignées des points d'émissions industrielles (ratio HAP/IP). Toutefois, ce comportement doit être confirmé, le nombre d'observation étant plus limité sur le site de Sallanches.

## 5 Conclusion

Le projet ECAPI avait pour objectif de préciser l'influence de la source d'émission industrielle sur les niveaux de HAP dans la zone de Passy. Cette étude s'est déroulée en période hivernale et sur la base de la description de la composition chimique des PM10 échantillonnés sur 2 sites, le site de proximité industrielle de Chedde et le site de fond de Passy. Durant les 2 mois d'observation, les évolutions des concentrations journalières en PM10 et en HAP apparaissent assez similaires entre les deux sites. Les concentrations moyennes journalières obtenues durant cette période sont plus importantes sur le site de Passy que sur le site de Chedde pour ces 2 types de polluants. Ainsi pour le BaP la concentration moyenne est de  $1,4 \text{ ng.m}^{-3}$  à Passy et  $0,6 \text{ ng.m}^{-3}$  à Chedde. Un comportement similaire est observé pour le lévoglucosan traceur des émissions de la combustion de biomasse. En revanche un comportement différent est observé pour le BNT(2,1) indicateur des émissions de l'activité industrielle de type « chimie du carbone ». Pour ce composé, si les concentrations maximales sont observées sur le site de proximité industrielle, l'ensemble des données de concentrations disponibles ne permet pas de mettre en évidence de différence significative entre les 2 sites.

La caractérisation chimique des PM10 est dominée par la matière organique sur les 2 sites mais avec une part plus importante sur le site de Passy. Ce résultat, associé à des contributions à la matière organique plus élevées des monosaccharides anhydres et des méthoxyphénols, met en évidence une influence plus forte de la source combustion de biomasse sur les niveaux de PM10 sur le site de Passy. Les HAP soufrés (dont le BNT(2,1)) semblent contribuer plus fortement à la matière organique des PM10 sur le site de Chedde. Pour autant aucune différence significative de contribution des HAP à la matière organique n'est observée entre les deux sites.

L'influence des sources de HAP a été évaluée qualitativement par des approches de type ratio-ratio. Sur les deux sites, les concentrations en HAP apparaissent fortement influencées par la source combustion du bois. Des influences ponctuelles plus marquées de la source industrielle semblent cependant visibles sur le site de Chedde. Cette approche reste cependant qualitative et doit être prise avec précaution car conditionnée à la représentativité des points sources utilisés. Or, ceux-ci peuvent subir des évolutions dans le temps en lien avec les modifications de procédés utilisés notamment pour les sources industrielles.

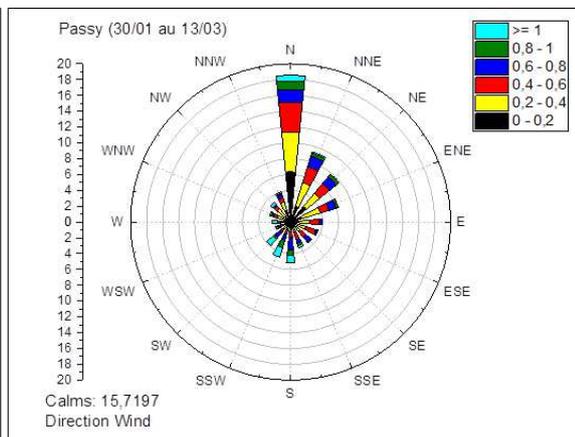
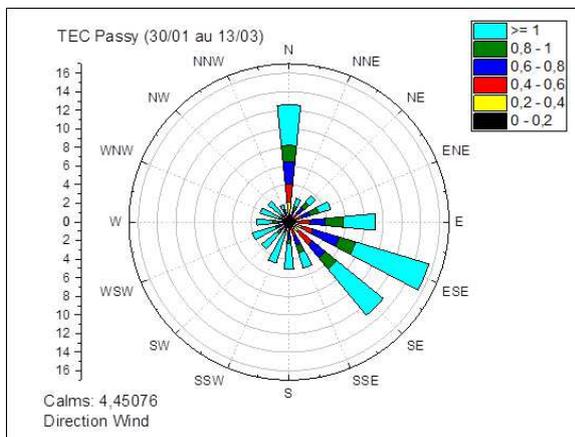
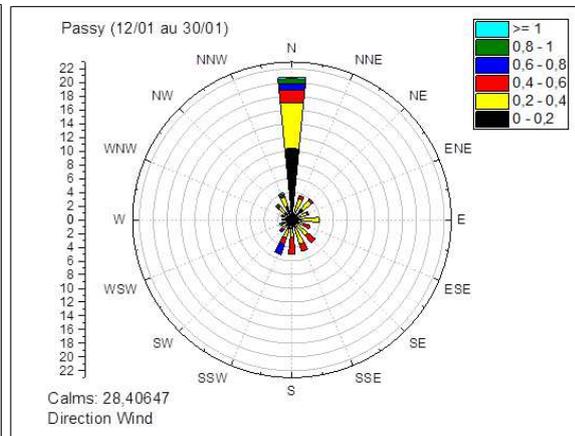
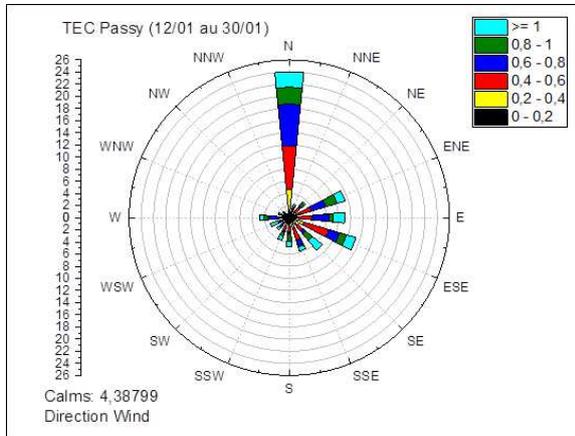
## Références bibliographiques

- Albinet A., Noblet C., Collet S., Lestremau F. et Besombes J.-L., 2021. SODEMASS – Déconvolution des sources de combustion de biomasse - recherche de marqueurs ou signatures chimiques spécifiques au chauffage résidentiel au bois et au brûlage à l'air libre de déchets verts. 104 pages.
- Allard J., Qualité de l'air dans la Vallée de l'Arve : météorologie locale et mesures des réductions des émissions liées au chauffage au bois. Ingénierie de l'environnement. Thèse de l'Université Grenoble Alpes, 2018.
- Atmo AURA, Bilan de la qualité de l'air en 2018, Haute Savoie, mai 2019 disponible sur <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr>
- Atmo AURA, Bilan des connaissances sur la qualité de l'air dans la vallée de l'Arve, mars 2018 disponible sur <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr>
- Bhattacharai, H., Saikawa, E., Wan, X., Zhu, H., Ram, K., Gao, S., Kang, S., Zhang, Q., Zhang, Y., Wu, G., Wang, X., Kawamura, K., Fu, P., and Cong, Z.: Levoglucosan as a tracer of biomass burning: Recent progress and perspectives, *Atmospheric Res.*, 220, 20–33, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.01.004>, 2019.
- Bonvalot L., Tuna T., Fagault Y., Jaffrezo J.L., Jacob V., Chevrier F., Bard E., Estimating contributions from biomass burning, fossil fuel combustion, and biogenic carbon to carbonaceous aerosols in the Valley of Chamonix: a dual approach based on radiocarbon and levoglucosan. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2016, vol 16, pp. 13753 - 13772, hal-01461957
- Bruns, E. A., Haddad, I. E., Slowik, J. G., Kilic, D., Klein, F., Baltensperger, U., and Prévôt, A. S. H.: Identification of significant precursor gases of secondary organic aerosols from residential wood combustion, *Sci. Rep.*, 6, 1–9, <https://doi.org/10.1038/srep27881>, 2016.
- CHAMPROBOIS, Transformation physico-chimique d'un aérosol de combustion de bois en champ proche de la source 2014, N° INERIS- DRC-14-128277-11309A.
- Chevrier F, Chauffage au bois et qualité de l'air en Vallée de l'Arve : définition d'un système de surveillance et impact d'une politique de rénovation du parc des appareils anciens. Océan, Atmosphère. Thèse de l'Université Grenoble Alpes, 2016.
- Chevrier F., Ježek I., Brulfert G., Močnik G., Marchand N., Jaffrezo J.L., Besombes J.L., DECOMBIO - Contribution de la combustion de la biomasse aux PM10 en vallée de l'Arve : mise en place et qualification d'un dispositif de suivi. *Pollution Atmosphérique : climat, santé, société*, 2016, n° 231-232, VIII - La vallée de l'Arve : des dispositifs innovants. Réf. HAL: hal-01535897.
- Chung W. et al. (2012) Characterisation of particulate matter on the receptor level in a city environment, *Environ. Monit. Assess.*, 184, 1471–1486.
- DREAL Auvergne Rhône Alpes, Plan de Protection de l'atmosphère de la vallée de l'Arve 2019-20123, disponible sur <http://www.haute-savoie.gouv.fr>.
- Eagar J.D., Ervens B, Herckes P, Impact of partitioning and oxidative processing of PAH in fogs and clouds on atmospheric lifetimes of PAH, 2017, *Atmospheric Environment*, vol 160, pp 132-141, [doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.016](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.016).
- Ebert et al. (2012) Source Apportionment of aerosol particles near a steel plant by electron microscopy, *J. Environ. Monit.* 14, 3257.
- Favez, O., El Haddad, I., Piot, C., Boréave, A., Abidi, E., Marchand, N., Jaffrezo, J.L., Besombes, J.L., Personnaz, M.B., Sciare, J., Wortham, H., George, C., D'Anna, B., 2010. Inter-comparison of source apportionment models for the estimation of wood burning aerosols during wintertime in an Alpine city (Grenoble, France). *Atmos. Chem. Phys.* 10, 5295-5314
- Golly B., Brulfert G., Berlioux G., Jaffrezo J.L., Besombes J.L., Large chemical characterisation of PM10 emitted from graphite material production: Application in source apportionment. *Science of the Total Environment*, 2015, vol 538, pp. 634-643. Réf. HAL: hal-01535824
- Golly B., Etude des sources et de la dynamique atmosphérique de polluants organiques particulaires en vallées alpines : apport de nouveaux traceurs organiques aux modèles récepteurs. Thèse de l'Université de Grenoble, 2014.
- Iinuma, Y., Böge, O., Gräfe, R., and Herrmann, H.: Methyl-Nitrocatechols: Atmospheric Tracer Compounds for Biomass Burning Secondary Organic Aerosols, *Environ. Sci. Technol.*, 44, 8453–8459, <https://doi.org/10.1021/es102938a>, 2010.
- Jaffrezo J.L., Besombes J.L., Marchand N., Mocnik G., Brulfert G., Chevrier F., Bertrand A., Jezek I., Allard J., DEconvolution de la contribution de la COMbustion de la BIOMasse aux particules dans la vallée de l'Arve. Projet DECOMBIO. Rapport de recherche. IGE, ADEME, 2018. URL: <https://www.ademe.fr/deconvolution-contribution-combustion-biomasse-particules-vallee-larve>. Réf. HAL: hal-02014894.

- Nalin F., Golly B., Charles P., Robin A.P., Stéphane V., Adrien D., Amandine F., Nicolas K., Pascal D., Serge C., Besombes J.L., Favez O., Albinet A., Fast oxidation processes from emission to ambient air introduction of aerosol emitted by residential log wood stoves. *Atmospheric Environment*, 2016, vol 143, pp. 15-26.
- Piot, C., Polluants atmosphériques organiques particulaires en Rhône-Alpes : caractérisation chimique et sources d'émissions. Thèse. Université de Grenoble, 2011.
- Robinson A.L., Subramanian R., Donahue N. M., Rogge W.F., Source apportionment of molecular markers and organic aerosol. polycyclic aromatic hydrocarbons and methodology for data visualization. *Environmental Science & Technology*, 2006, 40(24):7803–7810.
- Simoneit, B. R. T., Schauer, J. J., Nolte, C. G., Oros, D. R., Elias, V. O., Fraser, M. P., Rogge, W. F., and Cass, G. R.: Levoglucosan, a tracer for cellulose in biomass burning and atmospheric particles, *Atmos. Environ.*, 33, 173–182, [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(98\)00145-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00145-9), 1999
- Tomaz S., Jaffrezo J.L., Favez O., Perraudin E., Villenave E., Albinet A., Sources and atmospheric chemistry of oxy- and nitro-PAHs in the ambient air of Grenoble (France), 2017 *Atmospheric Environment*, vol 161, pp. 144-154, [doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.042](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.042)
- Vicente, E. D. and Alves, C. A.: An overview of particulate emissions from residential biomass combustion, *Atmospheric Res.*, 199, 159–185, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.08.027>, 2018.
- Waked A., Favez O., Alleman L. Y., Piot C., Petit J.E., Delaunay T., Verlinden E., Golly B., Besombes J.L., Jaffrezo J.L., Source apportionment of PM10 in a north-western Europe regional urban background site (Lens, France) using positive matrix factorization and including primary biogenic emissions. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2014, vol 14, pp. 3325-3346. Réf. HAL: hal-01539458
- Weber S., Uzu G., Calas A., Chevrier F., Besombes J.L., Charron A., Salameh D., Ježek I., Močnik G., Jaffrezo J.L., An apportionment method for the oxidative potential of atmospheric particulate matter sources: application to a one-year study in Chamonix, France. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2018, vol 18, n°13, pp. 9617 - 9629. hal-01837911.

# Annexe 1

Représentation des roses des vents obtenues sur les sites ATMO AURA : Passy et Passy Les Granges (TEC Passy).



## Annexe 2

Evolutions temporelles des concentrations en OC et EC sur les sites de Passy et Chedde du 10 janvier au 15 mars 2020.

