

Bilan des connaissances sur la qualité de l'air dans la vallée de l'Arve

2018



Diffusion : Mars 2018

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

Conditions de diffusion

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

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

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

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

A ce titre, les rapports d’études sont librement disponibles sur les sites 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 (2017) Evaluation du PPA de la vallée de l’Arve.

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

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

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

- depuis le [formulaire de contact](#)
- par mail : contact@atmo-aura.fr
- par téléphone : 09 72 26 48 90

Résumé

Même si, à l'échelle régionale, les niveaux dans l'atmosphère des différents polluants ont tendance à diminuer (à l'exception de l'ozone), le territoire de la vallée de l'Arve reste concerné pratiquement chaque année par des dépassements de seuils réglementaires :

- dépassement de la valeur limite journalière en PM10,
- dépassement des valeurs limites annuelle et horaire en NO₂ (aux abords des voiries principales),
- dépassement de la valeur cible annuelle en Benzo(a)Pyrène.

Ce rapport dresse le bilan des connaissances sur la qualité de l'air dans la vallée de l'Arve à partir des niveaux mesurés sur le territoire et d'études ou travaux de recherche réalisés ces dernières années pour les principaux polluants pouvant affecter la qualité de l'air :

- Dioxyde d'azote (NO₂),
- Particules en suspension (PM10/PM2.5),
- Benzo(a)pyrène (BaP) de la famille des hydrocarbures (HAP),
- Composés organiques volatils (COV),
- Dioxines et furanes,
- Métaux lourds (éléments traces métalliques),
- Dioxyde de soufre (SO₂),
- Ozone (O₃),

Pour chaque polluant, ce bilan présente la répartition spatiale et temporelle des niveaux et la situation vis-à-vis de la réglementation à partir des cartographies les plus récentes (lorsqu'elles sont disponibles : année 2016¹) avec l'exposition de la population ainsi que l'historique des concentrations sur les dernières années. Ce bilan fait aussi la synthèse des connaissances apportées par des études complémentaires et donne quelques pistes de connaissances restant à approfondir.

¹ Les cartographies de l'année 2017 sont encore en cours de calcul au moment de la rédaction du document (22/3/18)



Sommaire

1. Le territoire de la vallée de l'Arve	5
1.1 Description du territoire.....	5
1.2 Les sources d'émissions de polluants.....	6
2. Etat des connaissances sur la qualité de l'air (en mars 2018)	10
2.1 Les sites de mesures.....	10
2.2 Le dioxyde d'azote (NO ₂)	12
2.3 Les particules en suspension (PM10 et PM2.5).....	18
2.4 Le Benzo(a)Pyrène / les HAP	39
2.5 Les composés organiques volatils (COV).....	43
2.6 Les dioxines et furanes	47
2.7 Les métaux lourds (éléments traces métalliques)	50
2.8 Le dioxyde de soufre (SO ₂).....	54
2.9 L'ozone (O ₃)	56
3. Conclusions	58
Bibliographie	60

Annexes

Influence de la météo	66
Les polluants, les sources, les effets et les valeurs réglementaires	67
Les oxydes d'azote (NO, NO₂).....	67
Les particules (PM10, PM2.5)	68
Le B(a)P et autres Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	69
Les composés organiques volatils (COV).....	69
Le benzène	70
Les dioxines et furanes	70
Les métaux lourds	71
Le dioxyde de soufre (SO₂).....	72
L'ozone (O₃)	73

1. Le territoire de la vallée de l'Arve

1.1 Description du territoire

La vallée de l'Arve se situe dans le département de la Haute-Savoie, qui présente un relief montagneux et des vallées où se concentrent les émissions du secteur résidentiel, des zones d'activités tertiaires ou commerciales, d'ateliers de décolletage, mais aussi les émissions du trafic routier, avec notamment le transit routier international par le franchissement des Alpes (tunnel du Mont-Blanc vers l'Italie). La vallée de l'Arve est également touchée par des émissions ponctuelles ou diffuses du secteur industriel, avec la présence notamment d'importantes industries (SGL Carbone, ...) et de deux incinérateurs. Les zones cultivées doivent également partager cet espace réduit. Les densités de population avoisinent les 450 habitants au km². Enfin, le département de Haute-Savoie est également un secteur très touristique.

La carte suivante présente la répartition des activités humaines dans la zone du PPA de la vallée de l'Arve (Plan de Protection de l'Atmosphère sur 41 communes).

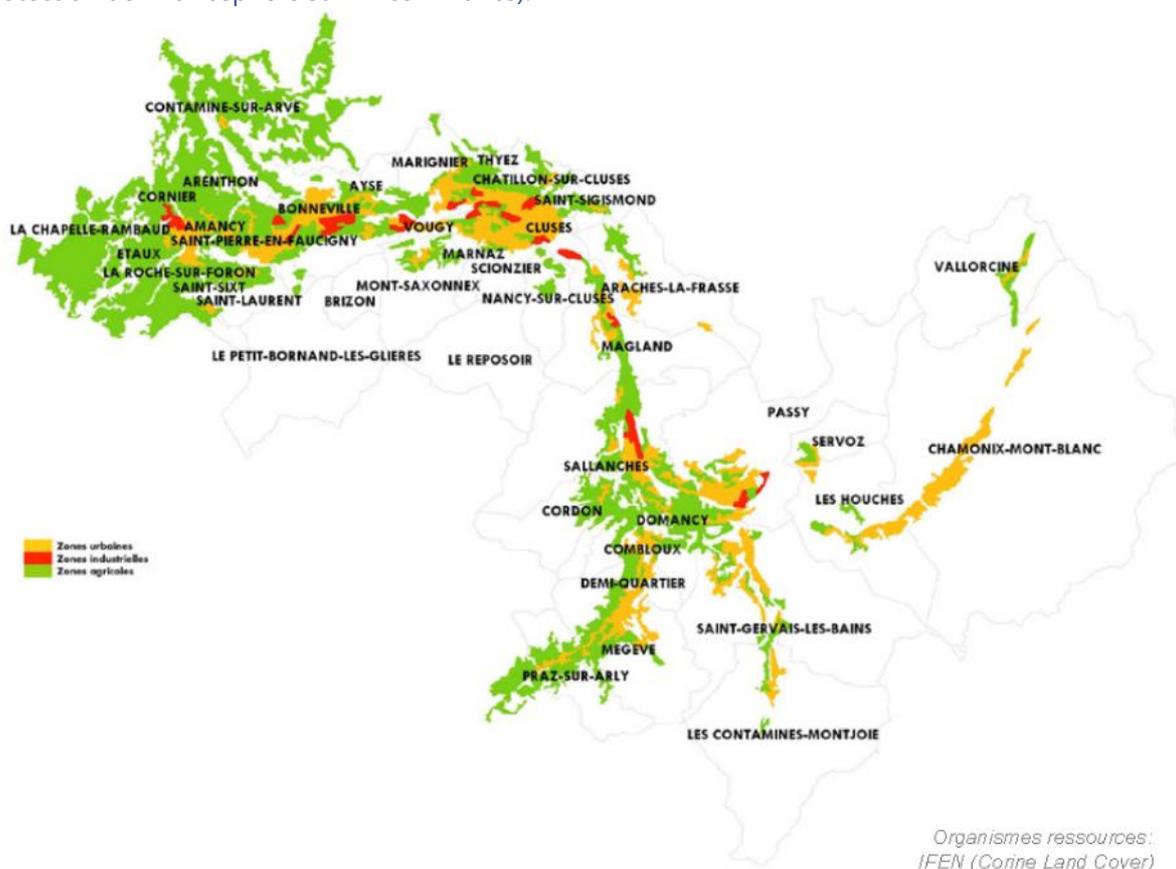


Figure 1 : Répartition des activités humaines dans la vallée de l'Arve

Chaque année, ce territoire est particulièrement concerné par la pollution atmosphérique. En effet, avec des zones urbanisées denses, des voiries très fréquentées et une présence industrielle importante en fond de vallée, les sources de pollution sont nombreuses et variées. De plus, le relief et les conditions météorologiques fréquemment stables constituent des facteurs aggravants, favorisant l'accumulation des polluants. En hiver, les inversions de température favorisent la stagnation des polluants à basse altitude, particulièrement les poussières en suspension. En été et dans les zones d'altitude, les rayonnements solaires ont plus d'énergie et favorisent sur ces territoires la formation d'ozone. Certaines catégories de population dites "sensibles", comme les personnes âgées et les enfants en bas âge, sont souvent plus fragiles vis-à-vis des effets de la pollution atmosphérique.

(voir aussi en Annexes : effets de la météo et description des différents polluants et leurs effets sur la santé)

1.2 Les sources d'émissions de polluants

Depuis quinze ans, ATMO Auvergne-Rhône-Alpes développe et enrichit en continu un inventaire régional des émissions qui répond à différents besoins :

- ✓ Fournir des données d'entrée pour les modèles d'évaluation de la qualité de l'air,
- ✓ Alimenter des observatoires (Air, OREGES Auvergne-Rhône-Alpes - Observatoire Régional de l'Energie et des GES -, ORHANE - Observatoire Régional Harmonisé Auvergne-Rhône-Alpes des Nuisances Environnementales),
- ✓ Répondre aux enjeux d'un territoire en évaluant des plans d'actions, comme les Plans de Protection de l'Atmosphère, les Plans de Déplacements Urbains, le Schéma Régional Climat Air Energie, les Plans Climat Air Energie Territoriaux...

La méthode privilégiée pour la réalisation de l'inventaire régional est dite « bottom-up » : elle utilise les données d'activités et d'émissions les plus fines disponibles à l'échelle infra-communale (principales émissions industrielles, comptages routiers, répartition de l'habitat des modes de chauffage, ...). Lorsque les données n'existent pas à une échelle fine, des données régionales sont désagrégées à l'échelle communale au moyen de clés de désagrégation connues pour l'ensemble des communes de Rhône-Alpes (population, emplois...). Les données sont ensuite ajustées en partie avec les données réelles fournies par les partenaires.

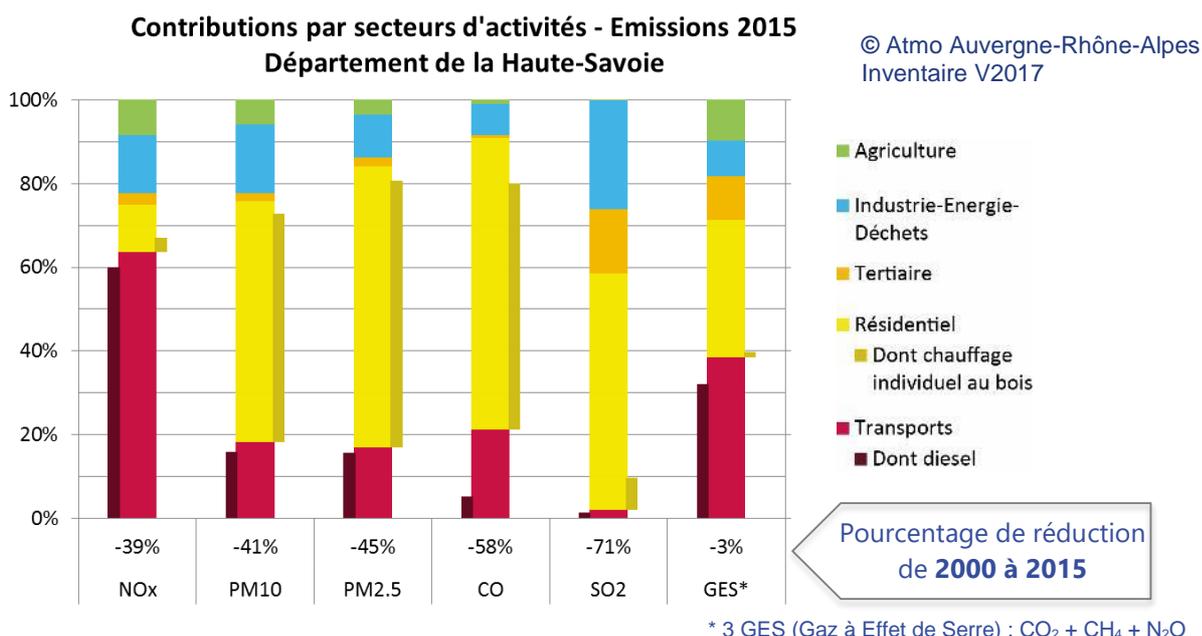
La construction de cet inventaire spatialisé (on parle de cadastre) est un long cheminement, qui repose sur la collecte de données auprès de nombreux organismes et sur une méthodologie nationale. Cet inventaire a bien évidemment ses limites, inhérentes notamment à la qualité des données recueillies et aux incertitudes des facteurs d'émission issues de la bibliographie. L'inventaire est actualisé chaque année.

Concernant l'industrie manufacturière spécifiquement, les émissions sont notamment issues des bases de données GERP² et IREP³ qui recensent les déclarations d'émissions ou de consommation individuelles des Grandes Sources Ponctuelles (GSP) faites par les industriels eux-mêmes sur le mode de l'auto-déclaration, puis vérifiées par les services de contrôle des ICPE (DREAL). ATMO Auvergne-Rhône-Alpes ne dispose pas d'autres données, ni de véritables moyens ou de pouvoir de contrôle pour vérifier la justesse de ces déclarations.

Pour en savoir plus : « inventaire régional émissions Auvergne-Rhône-Alpes » (voir bibliographie)

Contribution des secteurs d'activités dans les émissions de polluants

Les deux graphes suivants présentent les contributions des différents secteurs d'activités dans les émissions des principaux polluants atmosphériques, à l'échelle du département Haute-Savoie et sur la zone du PPA de la vallée de l'Arve.



² <https://www.declarationpollution.developpement-durable.gouv.fr/gerep/>

³ <http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/irep-registre-des-emissions-polluantes>

Figure 2 : Contribution des émissions par secteur d'activité en Haute-Savoie

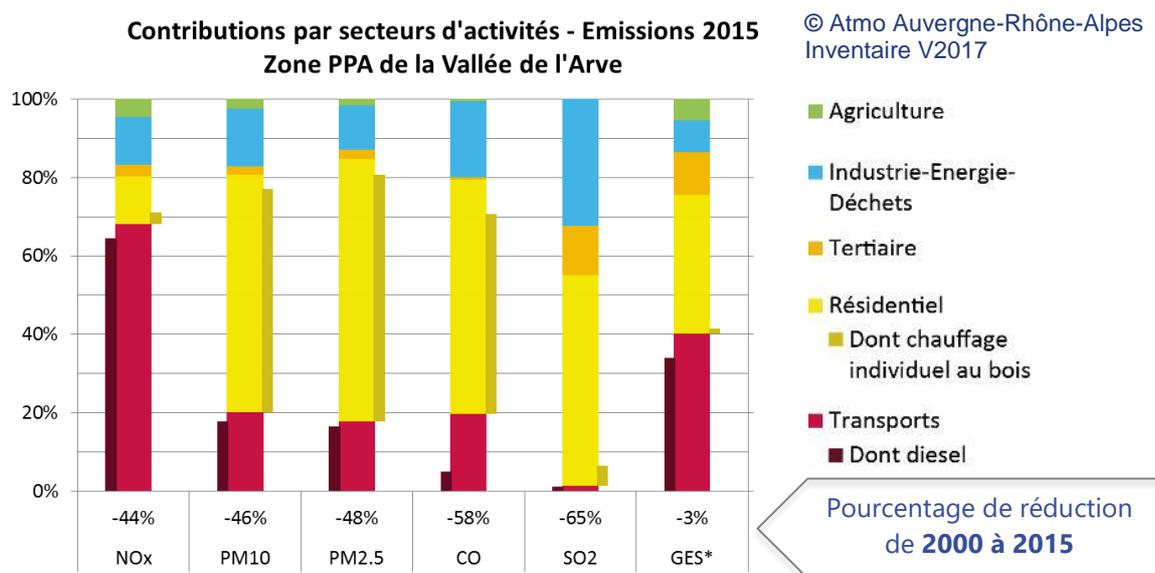


Figure 3 : Contribution des émissions par secteur d'activité dans la vallée de l'Arve

TRANSPORTS : le secteur des transports demeure le principal émetteur de NOx avec 2/3 des émissions, dont environ 90% est imputable aux véhicules Diesel. La contribution de ce secteur aux émissions de GES est également prépondérante (env. 40% sur la vallée de l'Arve) en lien avec la consommation quasi exclusive de combustibles fossiles. Les contributions de ce secteur aux émissions des autres polluants sont plus modérées.

RÉSIDENTIEL : le chauffage individuel au bois est l'émetteur majoritaire de particules et de CO puisqu'il représente plus de la moitié des émissions sur ces territoires.

Le secteur résidentiel est également l'émetteur majoritaire de SO₂ sur le département et la zone PPA de la vallée de l'Arve (plus de la moitié des émissions), en raison du chauffage domestique au fioul.

TERTIAIRE : le secteur tertiaire impacte peu les émissions de polluants dans ces territoires. C'est pour les GES et le SO₂ que sa part est la plus élevée, comprise entre 10% et 15% selon les polluants et la zone concernée.

INDUSTRIE/ÉNERGIE/DECHETS : ce secteur impacte surtout les émissions de SO₂, mais cette contribution reste faible sur le département et la zone du PPA de la vallée de l'Arve. Pour les autres polluants, les contributions de ce secteur restent minoritaires (entre 5% et 20% selon la zone et le polluant).

AGRICULTURE : les émissions polluantes agricoles ont assez peu d'impact sur ce territoire. Les NOx et les GES sont les plus concernés mais la contribution n'atteint qu'au maximum environ 10% pour ces deux polluants sur le département et environ 5% sur la vallée de l'Arve.

Une tendance à la baisse des émissions

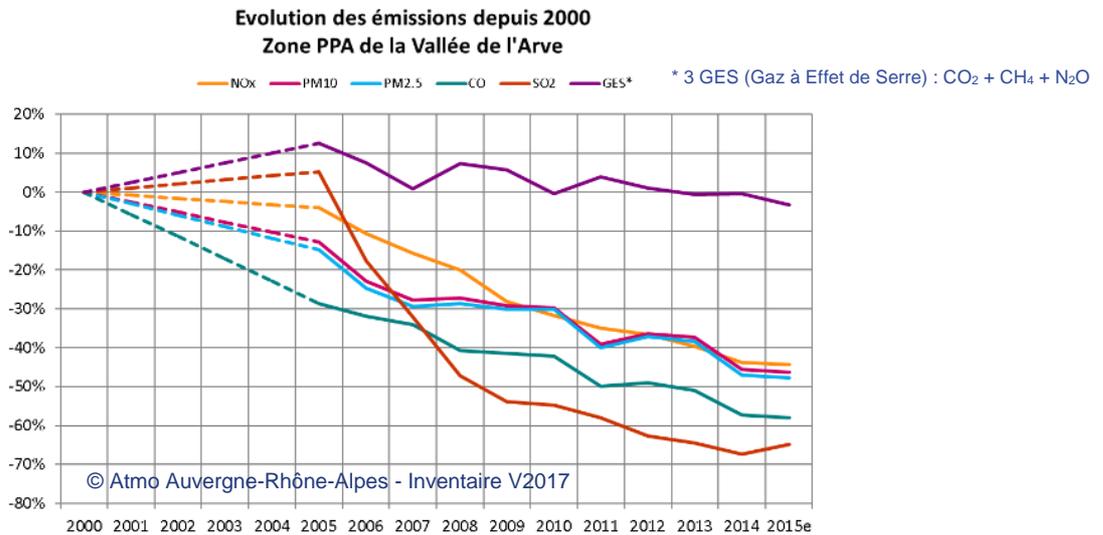


Figure 4 : Evolution des émissions par polluant depuis 2000 dans la vallée de l'Arve

Pour les NOx, la baisse significative observée depuis 2000 est surtout liée aux secteurs de l'industrie et du transport routier : la valeur légèrement plus faible observée en 2009, est la résultante d'un effet de la crise sur ces deux secteurs. La diminution des émissions industrielles, principalement entre 2005 et 2010, est en grande partie imputable à une efficacité grandissante des technologies de dépollution (afin de répondre à la réglementation). La diminution des émissions du transport routier (en raison du renouvellement du parc automobile) est en partie contrebalancée par l'augmentation des distances parcourues.

Pour les PM10 et les PM_{2,5}, la baisse observée sur plusieurs années est imputable au secteur résidentiel (renouvellement progressif des appareils individuels de chauffage au bois), au transport routier (renouvellement du parc automobile, avec la généralisation des filtres à particules à l'ensemble des véhicules neufs à partir de 2011) et à l'industrie (amélioration des procédés de dépollution, fermeture de certains sites ou réduction d'activité). A cette tendance à la baisse sur le long terme viennent s'ajouter des fluctuations annuelles en lien direct avec les variations de la rigueur climatique, qui conditionnent les besoins en chauffage et les consommations de combustibles associées, en particulier le bois de chauffage. C'est ainsi que les émissions sont plus fortes en 2010 par exemple, année marquée par un hiver plus froid.

Pour le CO, la baisse des émissions est consécutive à des gains réalisés sur le secteur résidentiel et celui des transports routiers, en particulier grâce à l'amélioration technologique des systèmes de chauffage (rendement) et des véhicules routiers.

Pour le SO₂, la baisse des émissions initiée depuis 2005 selon la zone concernée et moins marquée depuis 2009, est majoritairement liée à la diminution des émissions de l'industrie et des transports routiers en raison du renforcement de nombreuses réglementations (telles que la réduction de la teneur en soufre des combustibles ou des limites d'émission de plus en plus sévères). Cette diminution est cependant irrégulière en raison des variations d'émissions de certains établissements industriels.

Pour les Gaz à Effet de Serre (GES), la baisse des émissions est sensiblement inférieure à celles observées pour les polluants atmosphériques, du fait d'une consommation d'énergie soutenue jusqu'à 2005. La crise économique de ces dernières années a toutefois contribué à une diminution plus marquée à partir de 2009 dans le secteur de l'industrie. L'évolution vers un mix énergétique de moins en moins carboné, combinée à des politiques volontaristes de rénovation thermique et de report modal vers les transports en commun, expliquent la baisse observée dans les autres secteurs.

Au niveau des 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. Pour les dépassements de seuils en PM10, ce sont donc bien les conditions de dispersion qui sont un facteur aggravant. En conséquence : les efforts de réduction d'émissions doivent être plus importants pour avoir la même qualité de l'air en termes de concentration que sur le reste du territoire.

	Emissions PM10 par habitant (kg)	Emissions de NOx par habitant (kg)
--	----------------------------------	------------------------------------

Auvergne Rhône Alpes	3,9	12,9
Haute-Savoie	3,2	10,7
Zone PPA de l'Arve	3,3	11,9

Figure 5 : Emissions 2015 par habitant

Autres émissions dans la vallée de l'Arve

Les composés organiques volatils (COV)

La vallée de l'Arve présente de nombreuses entreprises spécialisées dans le domaine du décolletage et de la mécanique de précision. La vallée a été retenue pour être un pôle de compétitivité spécialisé dans les activités d'usinage et de la mécanique de précision. Le nombre d'entreprises est estimé à 800 PME de sous-traitance mécanique dont plus de 500 sont spécialisées dans le décolletage. Ces activités induisent une utilisation importante de solvants de dégraissage et d'huiles de coupe, avec un grand nombre de composés organiques volatil (COV) et notamment de COV chlorés, qui peuvent se retrouver dans l'atmosphère soit par émission diffuse (dans les ateliers et ensuite à l'extérieur), soit dans les rejets des extractions d'air des unités industrielles les utilisant. Une étude spécifique a été conduite en 2012 par ATMO Auvergne-Rhône-Alpes, avec des mesures spécifiques de ces composés organiques volatils.

Les dioxines/furanes et les métaux lourds

Depuis 2006, ATMO Auvergne-Rhône-Alpes pilote un programme de surveillance des dioxines et des métaux lourds émis dans l'atmosphère. Il est réalisé en partenariat avec des établissements industriels ainsi que la DREAL⁴ et l'ARS⁵ et cible les activités émettrices de deux grandes familles de polluants :

- ✓ Les dioxines et furanes, aussi désignés sous le terme générique de « dioxines »
- ✓ Les éléments traces métalliques (ETM), aussi appelés « métaux lourds »

Depuis 2015, le SITOM des vallées du Mont-Blanc, situé sur la commune de Passy, fait partie de ce programme de surveillance.

Les résultats de ce programme sont publiés régulièrement sur internet⁶ sous forme de rapports comprenant :

- ✓ L'évaluation des émissions dans l'atmosphère concernant ces polluants
- ✓ Les résultats des mesures en air ambiant et dans les retombées atmosphériques, à proximité de sites industriels participant au programme et sur des sites de référence urbains et ruraux.

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et le B(a)P

Il existe plusieurs dizaines de HAP, avec une toxicité variable, mais le benzo(a)pyrène (BaP) est pour l'instant le seul composé soumis à une valeur réglementaire. Les HAP sont principalement rejetés lors des processus de combustion et les émissions sont donc souvent corrélées avec celles des poussières (particules PM10/PM2.5). Au niveau du secteur résidentiel, les appareils de chauffage non performants constituent une source importante d'émissions de HAP. Au niveau des émissions industrielles, l'activité de SGL Carbon sur la zone de Chedde/Passy est également une source connue à l'origine de rejets ponctuels et diffus à l'atmosphère de plusieurs polluants dont des poussières et des HAP. Ces émissions sont soumises à des obligations de suivi environnemental, géré par la DREAL et des arrêtés préfectoraux.

Sur le territoire de la vallée de l'Arve, la surveillance réglementaire du BaP est réalisée depuis 2008 sur le site fixe de Passy, et des mesures ponctuelles ont été faites sur d'autres sites, comme à Sallanches ou Marnaz.

⁴ Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

⁵ Agence Régionale de Santé

⁶ <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/publications>

2. Etat des connaissances sur la qualité de l'air (en mars 2018)

2.1 Les sites de mesures

Surveillance réglementaire

Au niveau de la réglementation de la qualité de l'air, la vallée de l'Arve est une zone administrative de surveillance (ZAS). A ce titre, compte tenu de sa population, de son exposition et conformément à l'arrêté du 19 avril 2017, la surveillance réglementaire doit être assurée au minimum par :

- 2 sites de mesure de particules
 - Dont 1 trafic / 1 fond
 - Dont 1 PM10 / 1 PM_{2,5}

Il s'agit du site fixe de Passy (fond) et du site fixe Les Bossons (trafic route blanche)

- 1 site de mesure d'oxydes d'azote => Les Bossons
- 1 site de mesure de benzo[a]pyrène => Passy

Pour les autres polluants, il n'y a pas d'obligation réglementaire de mesure compte tenu des évaluations effectuées jusqu'à présent (notamment via des campagnes de mesures ou un suivi continu dans le cas du SO₂ par exemple). La surveillance peut être réalisée par estimation objective ou modélisation.

Surveillance complémentaire

Pour alimenter ou valider les modèles numériques et pour compléter l'information territoriale, d'autres moyens sont mis en œuvre ou l'ont été ces dernières années :

- Mesures fixes permanentes : 1 site à Chamonix (pour l'indice de qualité de l'air notamment) et 1 site à l'Aiguille du Midi (Ozone en haute altitude)
- Campagnes de mesures régulières visant notamment les particules (à Magland, Marnaz, Passy, Sallanches, Megève,...)
- Campagnes de mesures de composés organiques volatils COV (en 2012-2013)
- Campagnes de mesures de métaux lourds et dioxines, dans le cadre d'un programme régional de surveillance de ces composés existant depuis 2006. Depuis 2015, les mesures sont réalisées dans l'environnement du SITOM des vallées du Mont-Blanc.

A signaler : pour les campagnes qui se dérouleront courant 2018 dans l'Arve, il est prévu d'ajouter une mesure de dioxyde de soufre (SO₂) afin de disposer de données et d'évaluer la pertinence de remettre en service un suivi continu pour ce composé (ce que n'impose pas la réglementation à ce jour)

- Modélisation des concentrations quotidiennes et/ou annuelles en particules PM10 et PM_{2,5}, dioxyde d'azote, benzo[a]pyrène et ozone

A signaler : un partenariat est en cours avec plusieurs entreprises (Aria, Bontaz et Tera Environnement), afin de compléter le dispositif de mesures et d'affiner le modèle pour les particules et les oxydes d'azote.

La figure suivante présente la localisation des 4 stations fixes de mesures fixes situées à Passy (fond périurbain), Chamonix (fond urbain), aux Bossons (proximité trafic), à l'Aiguille du Midi (observation spécifique), ainsi que les sites de mesures complémentaires régulières effectuées à Marnaz, Magland et Sallanches (fond urbain / périurbain)

Le tableau d'après indique pour chaque site les polluants mesurés et les périodes de mesures.

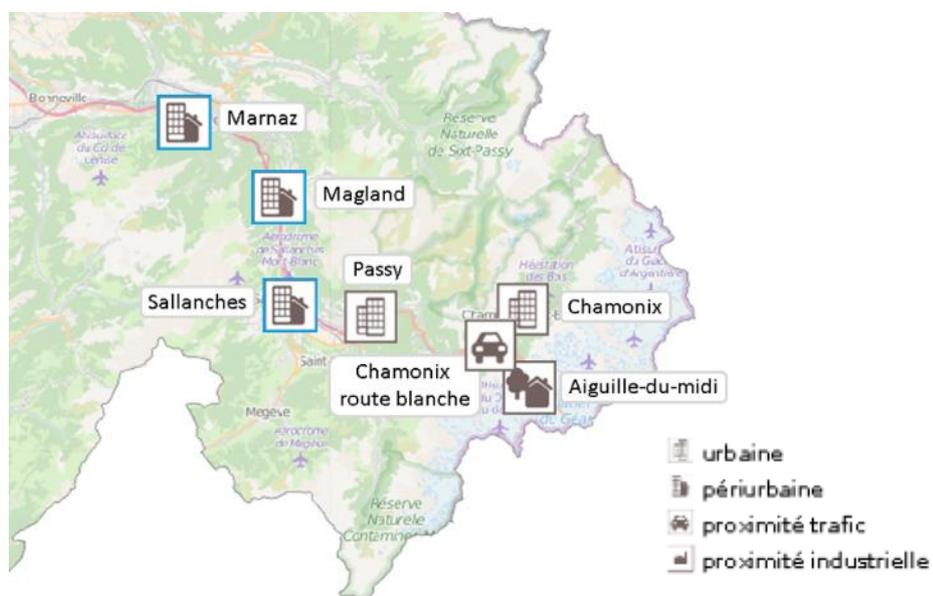


Figure 6 : Localisation des sites de mesures dans la vallée de l'Arve

Site	Polluants mesurés	Période de mesures
Passy	Dioxyde d'azote	2007 à aujourd'hui
	Dioxyde de soufre	2007 - 2012
	Ozone	2007 à aujourd'hui
	Particules PM10	2007 à aujourd'hui
	Particules PM2.5	Été 2015 à aujourd'hui
	Caractérisation chimique PM	2014 à aujourd'hui
	Benzo(a)Pyrène	2010 à aujourd'hui
Bossons	Dioxyde d'azote	2002 à aujourd'hui
	Particules PM10	2002 à aujourd'hui
Chamonix	Dioxyde d'azote	1998 à aujourd'hui
	Dioxyde de soufre	1998 - 2009
	Particules PM10	1998 à aujourd'hui
	Ozone	1998 à aujourd'hui
Sallanches	Particules PM10	2011 + 2015 à aujourd'hui
	Benzo(a)Pyrène	2011 ; 2015
Magland	Particules PM10	2016
	Dioxyde d'azote	2016
	Ozone	2016
Marnaz	Particules PM10	été 2013 -> mars 2017
	Particules PM2.5	été 2013 -> été 2014
	Benzo(a)Pyrène	2015
	Caractérisation chimique PM	été 2014 -> mars 2017

Figure 7 : Historique des mesures sur chaque site

2.2 Le dioxyde d'azote (NO₂)

Variation des niveaux en moyenne annuelle (exposition « chronique »)

Polluant principalement émis par le transport routier, le NO₂ se retrouve logiquement le long des axes routiers de transit interurbain et sur les grandes voiries à l'intérieur des grandes agglomérations.

En vallée de l'Arve, les plus forts niveaux de NO₂ se retrouvent en fond de vallée à proximité des infrastructures routières structurantes : aux abords de la « Route Blanche », des routes départementales avec une forte déclivité, des principaux axes urbains (à Cluses notamment) et de l'accès au Tunnel du Mont-Blanc.

La carte ci-dessous, des concentrations moyennes annuelles en 2016, montre que ces zones peuvent encore être soumises à des dépassements de la valeur limite réglementaire annuelle.

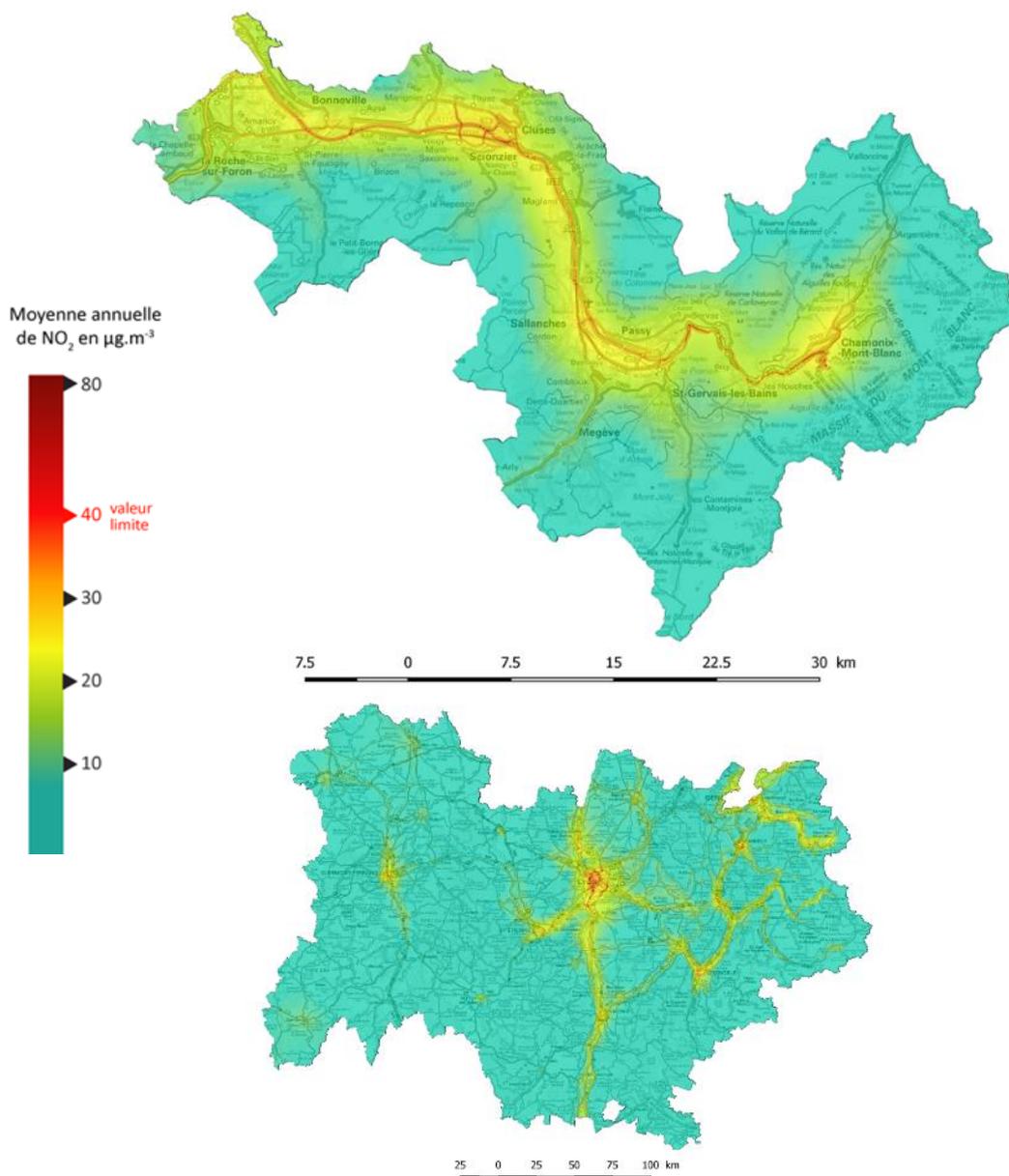


Figure 8 : Cartographie des moyennes annuelles en NO₂ en 2016 dans la Vallée de l'Arve (en haut) et sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (en bas)

Le croisement de ces cartes de concentrations avec les chiffres de recensement de la population permet d'estimer chaque année le nombre de personnes exposées à un risque de dépassement de la valeur limite.

Attention : la comparaison des chiffres d'exposition d'une année sur l'autre reste délicate du fait de changements qui peuvent survenir dans les méthodes de calculs.

Nombre de personnes exposées à un dépassement de la valeur limite dans la zone PPA de l'Arve			
2013	2014	2015	2016
moins de 500	moins de 500	1000	500

Figure 9 : Populations exposées à un dépassement de la VL en NO₂ - 2013 à 2016

Depuis 2013, le nombre de personnes exposées à un dépassement de la valeur limite annuelle en dioxyde d'azote reste assez restreint (entre 1000 et 500 personnes ou moins).

Il faut préciser toutefois que les niveaux en NO₂ décroissent très rapidement à mesure que l'on s'éloigne des grands axes, sur une distance qui peut varier de quelques dizaines de mètres à une centaine de mètres de part et d'autre de la voirie, en fonction du trafic sur l'axe et de l'urbanisme environnant. Par conséquent, les zones soumises à un risque de dépassement se limitent aux habitations les plus proches des axes routiers.

Historique des niveaux

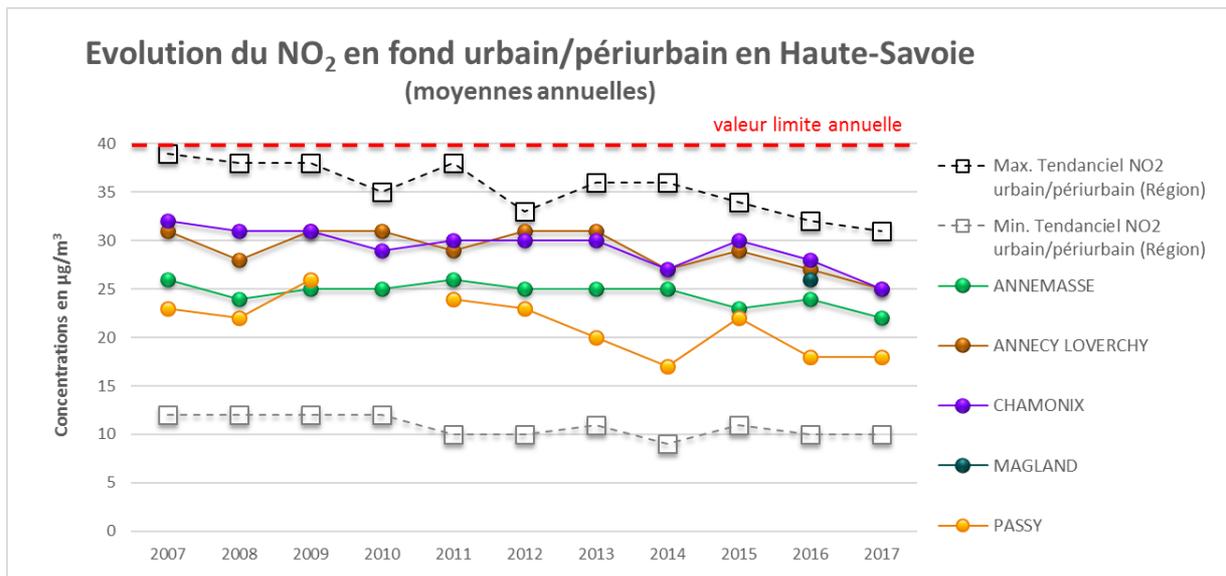


Figure 10 : Historique des moyennes annuelles en NO₂ en fond urbain en Haute-Savoie

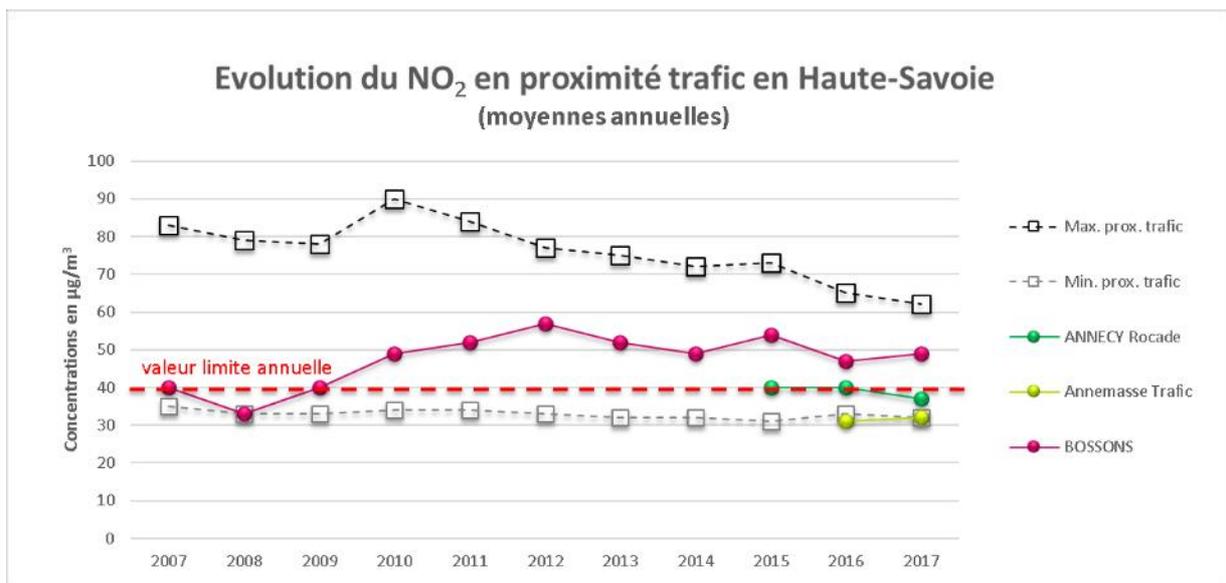


Figure 11 : Historique des moyennes annuelles en NO₂ en proximité automobile en Haute-Savoie

En fond urbain ou périurbain, depuis 2007, les stations de mesures en Haute-Savoie et dans la vallée de l'Arve montrent une légère tendance à la baisse. En comparaison avec les valeurs min/max du tendanciel sur l'ensemble des sites urbains/périurbains de la région, les baisses constatées dans la vallée de l'Arve sont du

même ordre de grandeur et s'inscrivent donc dans un contexte d'amélioration générale, due au renouvellement progressif du parc routier, qui génère moins d'émissions de NOx.

D'un point de vue réglementaire, il faut noter que les valeurs limites n'ont jamais été dépassées depuis les 10 dernières années en fond urbain.

En proximité routière, la situation dans la vallée de l'Arve est moins nette.

Comme le montre le graphe suivant, sur le site des Bossons par exemple (situé le long de la Route Blanche entre Passy et Chamonix), les niveaux ont été d'abord à la hausse jusqu'en 2012, puis en légère baisse ou stagnation, alors que la tendance régionale montre tout de même une amélioration sur l'ensemble des sites de proximité trafic (maximum généralement atteint sur le site A7 sud lyonnais).

Globalement, en faisant abstraction des variations météorologiques, on peut parler d'une stagnation des niveaux en proximité trafic aux Bossons. La valeur limite annuelle y est dépassée chaque année.

Variation des niveaux sur l'année et la journée (exposition « aigue »)

Sur l'ensemble de l'année, comme le montre l'exemple ci-dessus sur les sites des Bossons et de Passy, les niveaux moyens de NO₂ varient en fonction des saisons, avec des niveaux moins élevés en période estivale et en hausse sur les mois d'hiver, en lien avec des conditions météorologiques plus stables et favorables à l'accumulation des polluants.

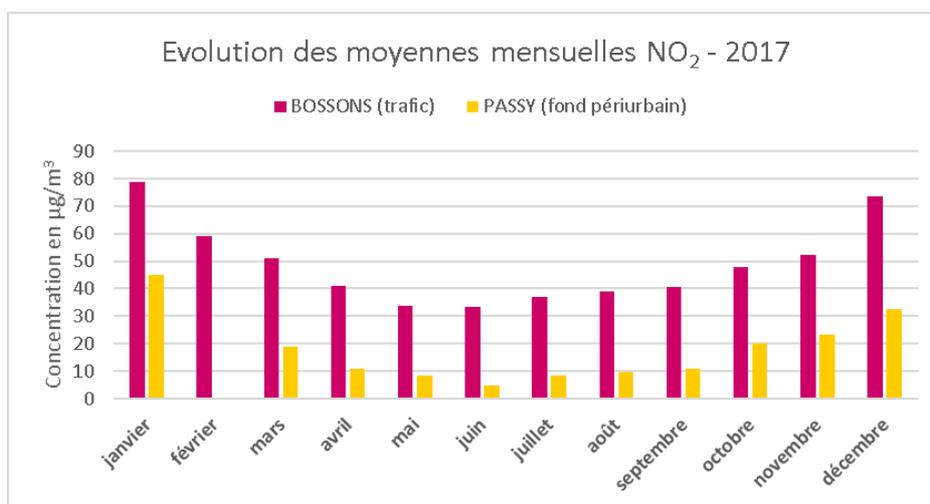


Figure 12 : Profils mensuels en NO₂ en proximité automobile (Bossons) et en fond périurbain (Passy)

A l'échelle de la journée, les niveaux varient également en fonction des heures, avec des niveaux en moyenne plus élevés aux heures où le trafic est le plus dense, comme le montre le graphe des profils moyens journaliers sur Bossons et Passy (moyennes sur l'année 2017 pour chaque heure de la journée).

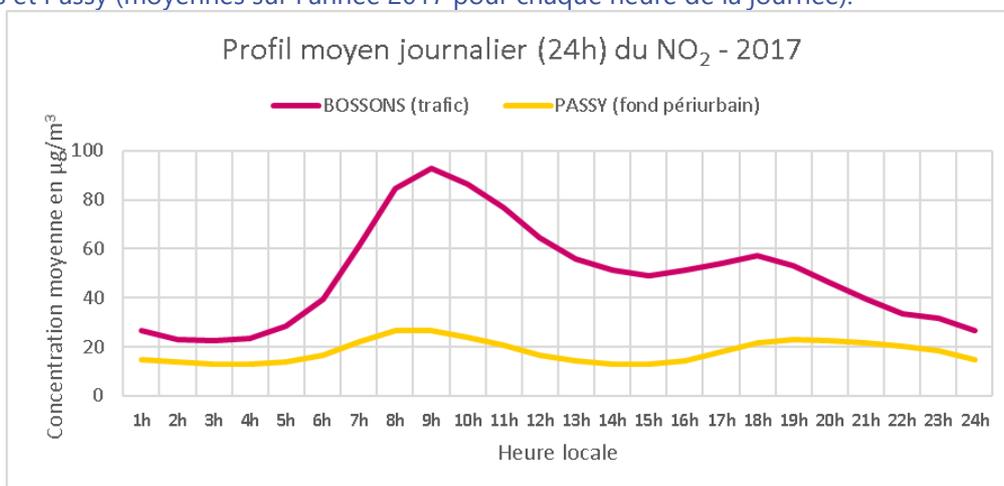


Figure 13 : Profils moyens journaliers en NO₂ en proximité automobile (Bossons) et en fond périurbain (Passy)

Le profil hebdomadaire des concentrations de NO₂ en 2017 sur la station de proximité trafic des Bossons montre une augmentation des concentrations dans la semaine avec un pic le mercredi. En prenant une période plus longue (2015-2017) le pic de concentration se situe plutôt le vendredi. La décroissance des concentrations de NO₂ est importante le samedi et le dimanche où elle atteint son minima, en lien avec la baisse de trafic. Les concentrations de PM10 associées ont des fluctuations de moindre amplitude avec des niveaux légèrement plus élevés du mardi au vendredi.

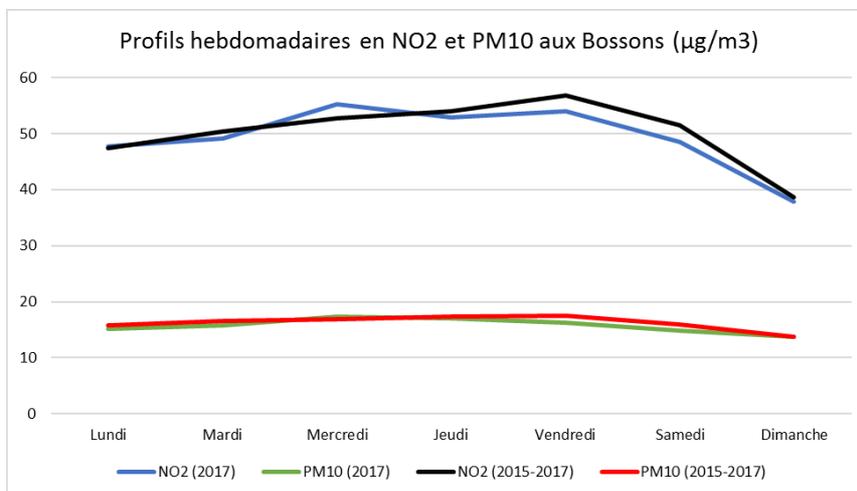


Figure 14 : Profils moyens hebdomadaire en NO₂ et PM10 en proximité automobile (Bossons)

En moyenne horaire, le seuil de recommandation et d'information pour les personnes sensibles est fixé à 200 µg/m³ sur 1h et le seuil d'alerte à 400 µg/m³ sur 1h. La réglementation fixe également une valeur limite annuelle pour ne pas dépasser plus de 18 heures par an le seuil de 200 µg/m³.

Depuis quelques années, avec les progrès technologiques apportés par les constructeurs sur les émissions des véhicules et le renouvellement du parc automobile, ce seuil n'est quasiment plus dépassé en fond urbain (quelques heures par an sur certains sites), et de moins en moins en proximité trafic.

Il reste néanmoins quelques sites sur la région qui dépassent encore plusieurs fois par an le seuil horaire de 200 µg/m³, la plupart situés le long d'autoroutes, de périphériques ou de grands boulevards urbains, notamment dans l'agglomération lyonnaise très urbanisée.

Dans la vallée de l'Arve, le site des Bossons a dépassé la valeur limite horaire en 2015 et 2016, mais pas en 2017.

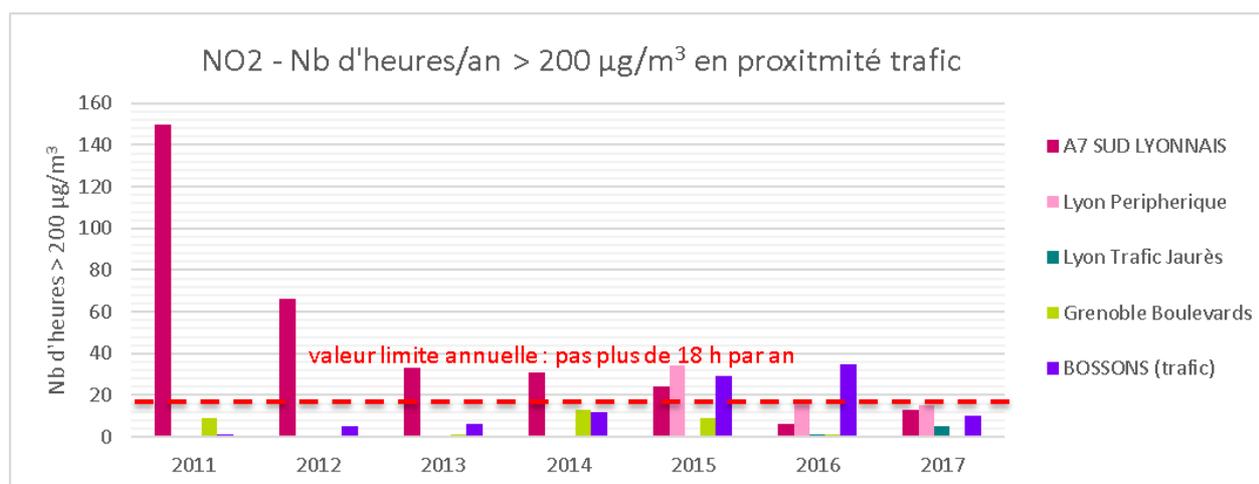


Figure 15 : Historique du nombre d'heures par an > 200 µg/m³ pour le NO₂ en proximité trafic

Connaissances complémentaires

Part du trafic de transit dans les émissions routières (2017 – évaluation du PPA)

Extraits de l'évaluation des actions du PPA de l'Arve en 2017,

L'utilisation de l'historique du parc roulant français du CITEPA et du parc prospectif 2016 AME (Avec Mesures Existantes) ont permis d'analyser l'évolution des émissions du parc roulant. Cet historique décrit les véhicules par types (voitures, VUL, PL, bus, autocars et deux roues motorisés), par carburant, par cylindrée ou PTAC et par norme Euro. Quatre parcs sont disponibles : un parc moyen, urbain, périurbain et autoroutier.

L'étude des parcs roulants de véhicules légers (<3,5t) montre un renouvellement conséquent entre 2011 et 2016. En effet, en 2011 plus de 45% du parc roulant français est constitué de véhicules de normes inférieures à Euro 4. En 2016, cette part chute à environ 20%, avec plus de 40% de véhicules récents (Euro 5 et 6), contre moins de 10% en 2011.

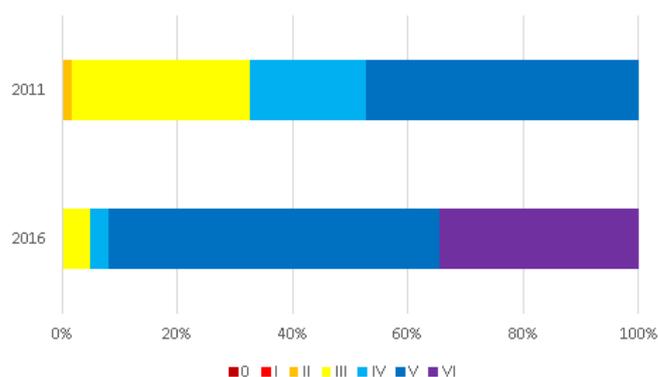


Figure 16 : Evolution du parc roulant local de poids lourds passant au tunnel du Mont Blanc par normes Euro

Ce renouvellement est encore plus marqué si on considère les poids-lourds : 98% des kilomètres sont parcourus par des véhicules dont la norme est strictement supérieure à Euro III en 2016.

Le parc 2016 est nettement moins polluant que le parc 2011, les normes Euro 5 (V) et 6 (VI) étant beaucoup plus strictes que les normes précédentes, notamment en termes d'émissions de NOx et de particules fines, ce qui laisse préfigurer une baisse tendancielle non négligeable des émissions au cours de la période.

Suite à l'évaluation des actions du PPA de l'Arve, la proportion des émissions sur lesquelles ces actions auront un effet sur la qualité de l'air ont été envisagées notamment pour le trafic de poids lourds (*toutes les hypothèses prises en compte sont disponibles dans l'évaluation du PPA*)

Les poids lourds circulant sur l'axe A40/N205 (ainsi qu'un petit tronçon de l'A410) contribuent à hauteur de 5% pour le B(a)P, 8 % des PM10 et 15% pour les NOx des émissions totales du transport routier dans la vallée. Ils représentent plus de la moitié des émissions des poids lourds circulant dans la vallée de l'Arve (entre 54% et 60%). La contribution des véhicules légers demeure prépondérante dans les émissions routières, d'où la mise en place d'actions complémentaires telles que la diminution de la vitesse réglementaire en période hivernale.

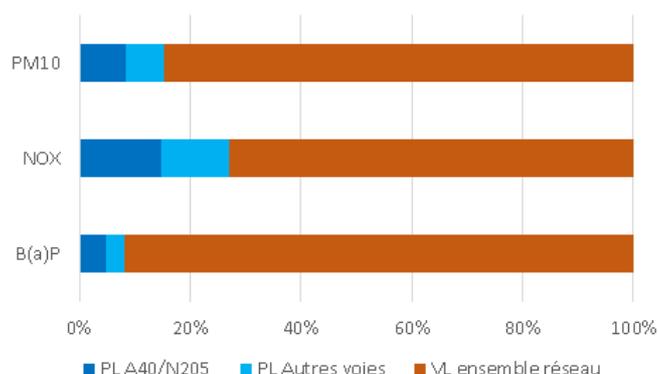


Figure 17 : Répartition des émissions routières du scénario tendanciel distinguant les poids lourds des véhicules légers

Influence des flux touristiques aux accès de stations de ski (2014 – étude terminée)

Les Alpes constituent le premier attrait touristique en Auvergne-Rhône-Alpes, tant pour les sports d'hiver que pour le tourisme d'été. La vallée de l'Arve desservant plusieurs stations de grande renommée, elle subit d'importants flux de personnes et de marchandises et, par conséquent, une augmentation du trafic routier, ainsi qu'une forte hausse du nombre de résidents en villages-stations.

Dans ce contexte, une étude a été menée par ATMO Auvergne-Rhône-Alpes pour tenter d'évaluer l'impact de l'activité touristique sur la qualité de l'air, d'estimer les niveaux d'exposition des personnes résidant dans ces zones touristiques, d'identifier les sources de pollution majoritaires, et ainsi d'identifier comment les populations touristiques peuvent contribuer à l'atténuation des rejets de polluants.

Cette évaluation s'est effectuée autant sur les lieux touristiques, c'est-à-dire en stations (sites de fond), que sur les grands axes de circulation menant à celles-ci (sites de proximité automobile).

La vallée de l'Arve était concernée par cette étude et plus particulièrement la station de ski de Combloux et son accès via Sallanches.

Principaux résultats :

Les mesures de terrain ont montré qu'aucun site ne dépassait la valeur limite annuelle réglementaire pour le dioxyde d'azote ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), y compris les sites en proximité automobile.

Le trafic routier touristique a donc un impact limité sur les teneurs en dioxyde d'azote en dehors des voies de circulation. A noter tout de même que les sites de la vallée de l'Arve ont enregistré les valeurs les plus élevées.

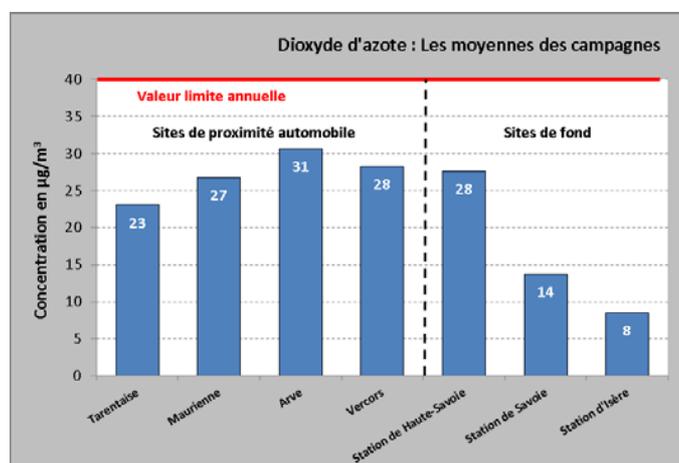


Figure 18 : Concentrations moyennes de NO_2 relevées durant les campagnes

Les piste de connaissances à approfondir

Si le trafic sur les axes principaux est assez bien documenté, notamment avec les comptages au niveau du tunnel Mont-Blanc, le trafic diffus est moins bien connu et reste plus complexe à étudier.

2.3 Les particules en suspension (PM10 et PM2.5)

Variation des niveaux en moyenne annuelle (exposition « chronique »)

Les particules en suspension PM10 ou PM2.5 (de diamètre inférieur ou égal à 10 μm ou 2,5 μm) proviennent d'une multitude de sources, ce qui explique que les stations de mesures de fond urbain puissent être touchées par des dépassements réglementaires.

Pour les PM10, en moyenne annuelle, sur les dix dernières années, dans la vallée de l'Arve, la valeur limite réglementaire fixée à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle a toujours été respectée, y compris sur des zones à proximité du trafic. Le fond de vallée reste plus exposé, mais aucun dépassement n'est à signaler.

Toutefois, une large partie de la vallée de l'Arve est chaque année en dépassement vis-à-vis de la valeur guide OMS fixée à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle (environ 30.000 habitants concernés en 2016), tout comme d'autres territoires sur la région.

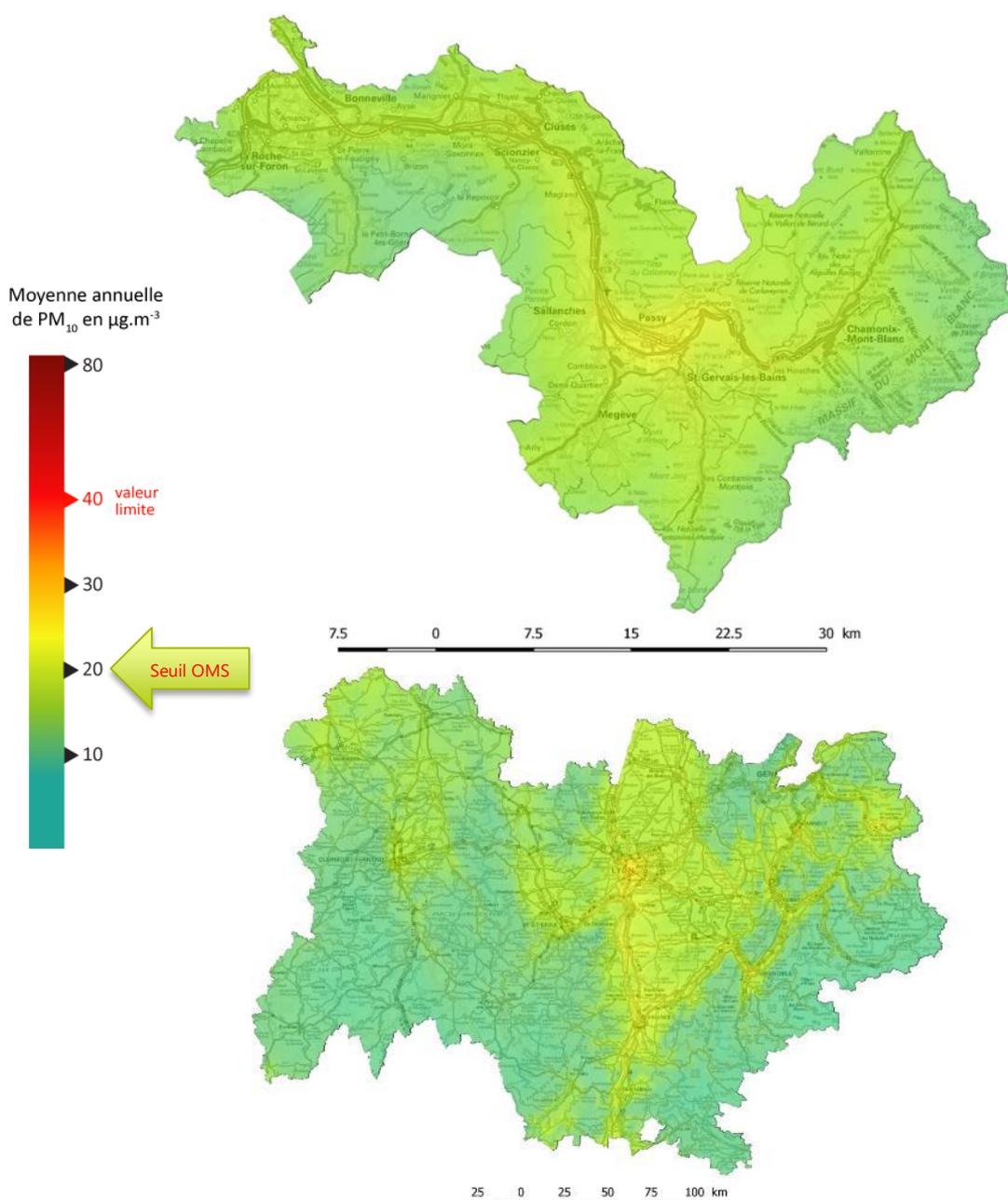


Figure 19 : Cartographie des moyennes annuelles en PM10 en 2016, dans la Vallée de l'Arve (en haut) et sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (en bas)

Depuis dix ans, les concentrations moyennes en PM10 sur la région Auvergne-Rhône-Alpes montrent une tendance globale orientée plutôt à la baisse, tant en sites urbains de fond qu'en sites trafic.

Sur le département de la Haute-Savoie, on peut observer des disparités sur certains sites qui peuvent montrer des niveaux stables ou en légère hausse (comme Annecy Rodeo ou Annemasse trafic, implantés depuis seulement quelques années). Même si la valeur limite annuelle est respectée, on observe que les niveaux restent partiellement supérieurs à la valeur recommandée par l'OMS.

Sur la vallée de l'Arve, le site de Passy représente les moyennes annuelles maximales de la région depuis plusieurs années avec tout de même une diminution assez notable depuis 4 ou 5 ans. En 2017, la moyenne annuelle sur ce site (23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dépasse encore de peu le seuil recommandé par l'OMS (fixée à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) tout comme sur à Annecy Loverchy (22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ou à Sallanches (21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Sur les autres sites de fond, ainsi que le site trafic des Bossons, les niveaux respectent depuis 3 ou 4 ans ce seuil préconisé par l'OMS en moyenne annuelle. A noter également que sur les différents sites sondés dans la vallée de l'Arve, comme à Marnaz, Sallanches ou Magland, les niveaux moyens ont été à chaque fois inférieurs à ceux mesurés à Passy.

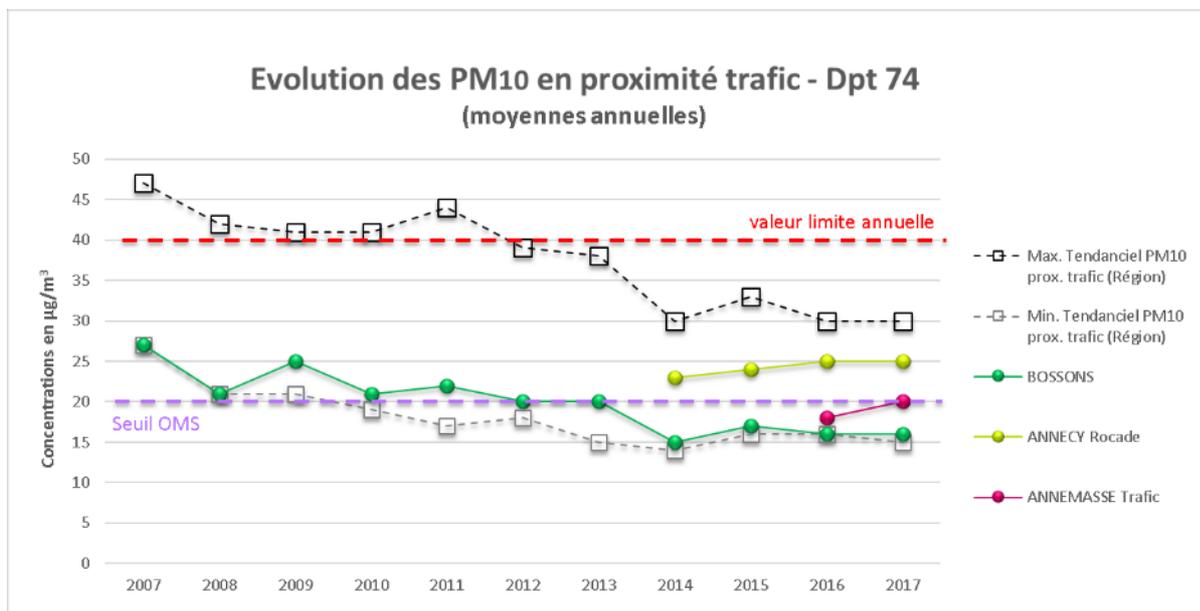


Figure 20 : Historique des moyennes annuelles en PM10 en proximité trafic en Haute-Savoie

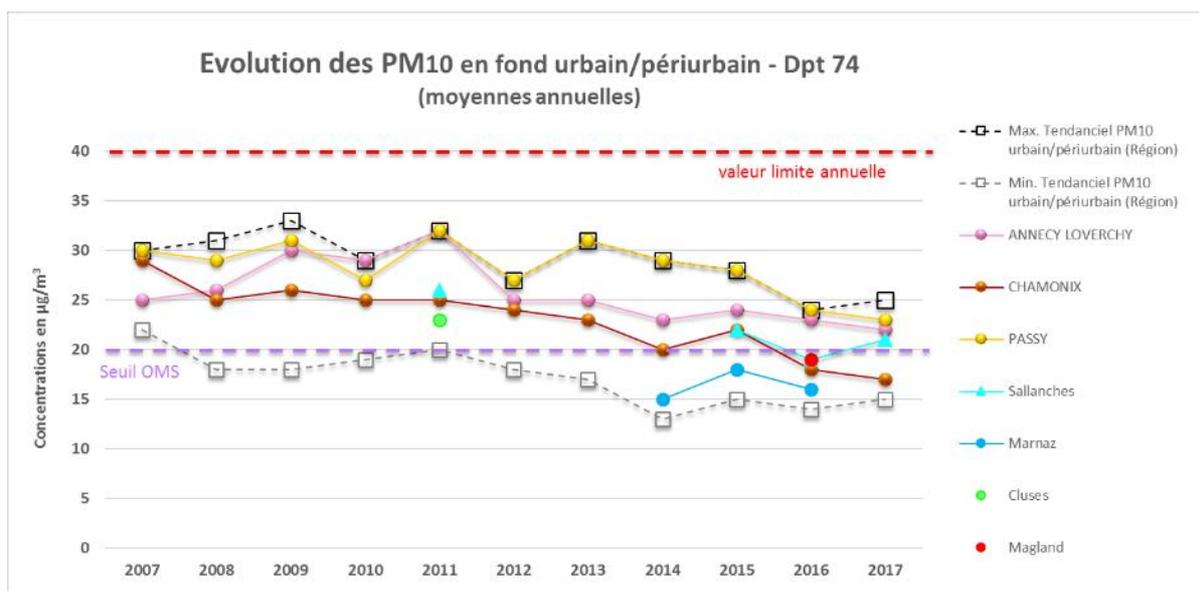


Figure 21 : Historique des moyennes annuelles en PM10 en fond urbain en Haute-Savoie

Pour les PM2.5, en moyenne annuelle, à l'instar des PM10, la valeur réglementaire annuelle fixée à $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle est respectée depuis plusieurs années. Toutefois, chaque année, les hauts-savoyards et les habitants de la vallée de l'Arve restent exposés à des moyennes annuelles supérieures à la valeur recommandée par l'OMS (fixée à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), qui est également un objectif de qualité indiqué par la réglementation française. Ce constat est fait également chaque année sur la plupart des autres zones urbanisées de la région.

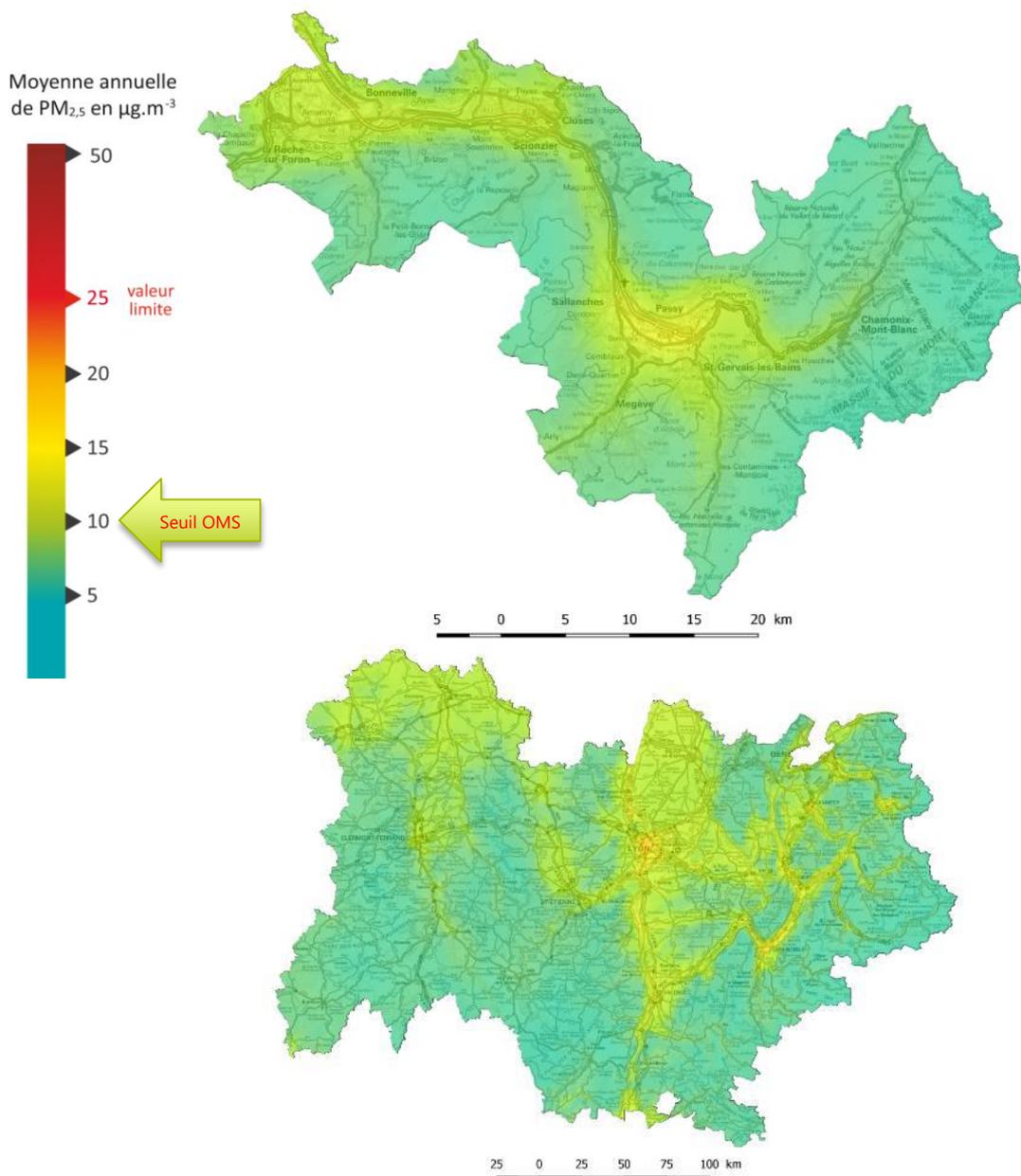


Figure 22 : Cartographie des moyennes annuelles en PM_{2.5} en 2016 dans la Vallée de l'Arve (en haut) et sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (en bas)

Dans la vallée de l'Arve, les PM2.5 sont mesurées sur le site de Passy (fond périurbain) seulement depuis 2016. En 2017, les niveaux sur ce site sont quasi équivalents à ceux de 2016 mais plus élevés que sur les autres sites de fond (ce site n'a pas encore assez de recul statistique pour être inclus dans le calcul tendanciel régional). En Haute-Savoie les particules PM2.5 sont mesurées depuis 2009 en fond urbain sur Annemasse ou Annecy, et les concentrations suivent la tendance globale vers une légère baisse (voir graphe ci-après).

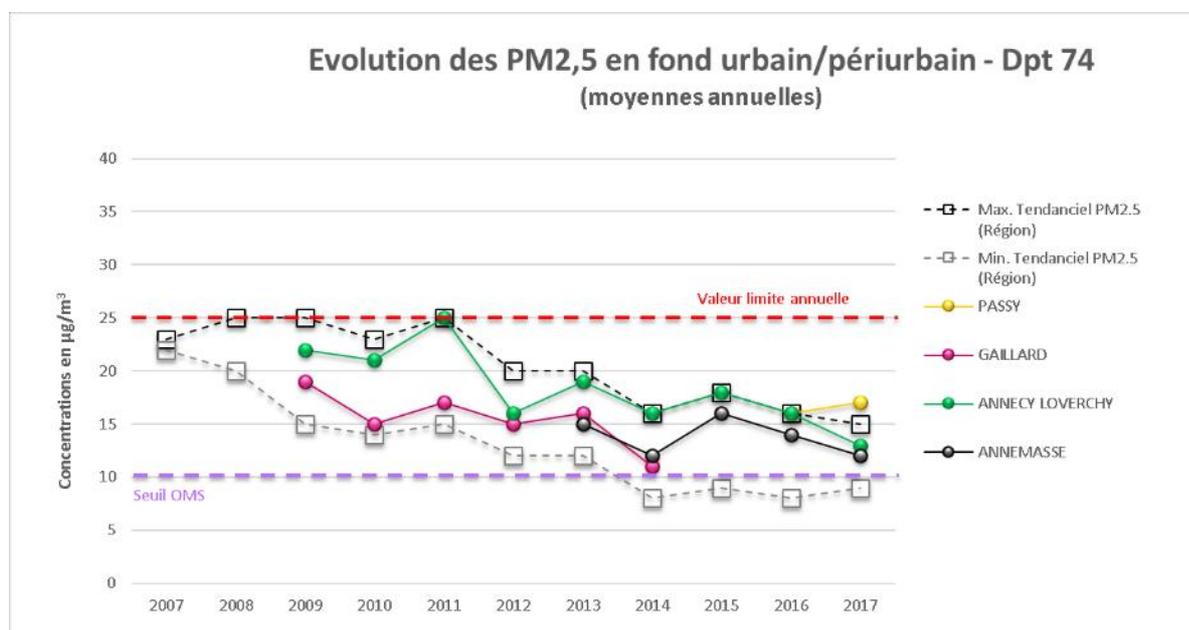


Figure 23 : Historique des moyennes annuelles en PM2.5 en Haute-Savoie

Variation des niveaux en moyennes journalières (exposition « aigue »)

Pour les PM10, par rapport au nombre de dépassements journaliers, la situation reste problématique.

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).

Le secteur de Sallanches-Passy est historiquement le plus impacté, notamment en période hivernale, en raison d'émissions importantes et d'un confinement particulier des masses d'air en fond de vallée.

Comme le montre la carte suivante, en 2016, ce secteur avait une nouvelle fois dépassé la valeur limite mais de peu, avec 36 jours supérieurs à 50 µg/m³, alors qu'ailleurs ce seuil avait été respecté. Dans l'ensemble, 2016 avait été une année assez favorable à une bonne qualité de l'air. La quasi-totalité des dépassements journaliers ont eu lieu lors de l'épisode de pollution de décembre, d'une ampleur exceptionnelle et constaté à une échelle nationale.

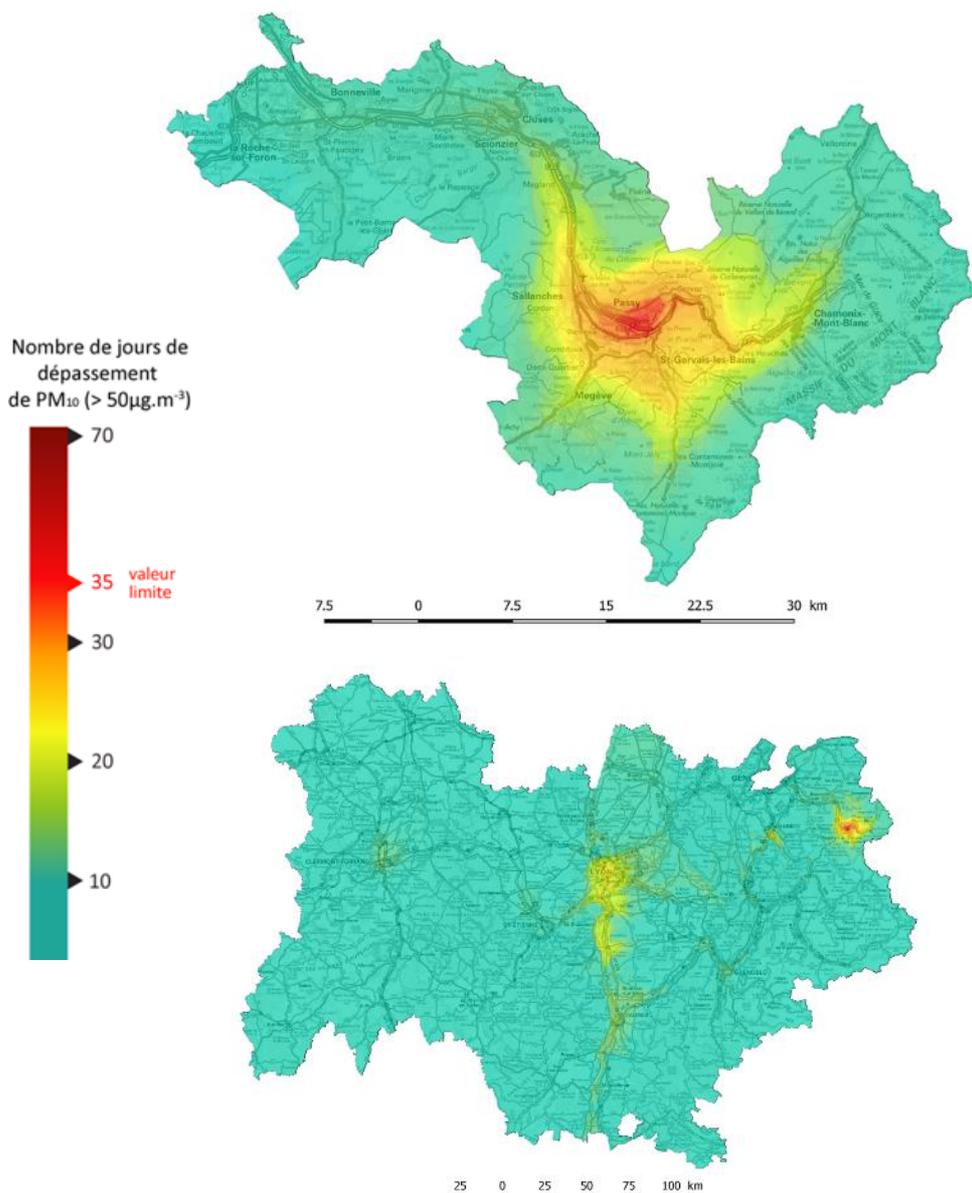


Figure 24 : Cartographie du nombre de jours de dépassement du seuil de la valeur limite journalière en PM10 en 2016 dans la Vallée de l'Arve (en haut) et sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (en bas)

Le croisement des cartes de concentrations avec les chiffres de recensement de la population permet d'estimer chaque année le nombre de personnes exposées à un risque de dépassement de la valeur limite.

Attention : la comparaison des chiffres d'exposition d'une année sur l'autre est délicate du fait de changements qui peuvent survenir dans les méthodes de calculs.

Nombre de personnes exposées à un dépassement de la valeur limite journalière dans la zone PPA de l'Arve				
2012	2013	2014	2015	2016
2000	9000	4000	5000	500

Figure 25 : Populations exposées à un dépassement de la VL journalière en PM10 - 2012 à 2016

Entre 2012 et 2015, dans la zone du PPA de l'Arve, le nombre de personnes exposées variait entre 2000 et 9000 personnes. En 2016, ce nombre était en très nette baisse par rapport aux années précédentes, avec environ 500 personnes exposées.

L'année 2017 marque un tournant historique puisqu'il s'agit de la première année au cours de laquelle aucun dépassement de valeur réglementaire n'a été constaté sur les stations de mesures pour les particules dans la région. La modélisation en cours de calcul devrait venir confirmer ce constat. Il est vrai que les conditions

météorologiques en 2017 ont été particulièrement clémentes vis-à-vis des épisodes de pollution. Mais il n'en demeure pas moins que les efforts pour l'amélioration de la qualité de l'air portés par l'Etat, les collectivités, les acteurs économiques et les citoyens semblent commencer à démontrer leur efficacité. Il reste à maintenir et à accentuer les efforts dans les années à venir pour pérenniser la situation. Notamment, il ne faut pas oublier que des efforts restent à faire vis-à-vis de la valeur guide de l'OMS dans l'intérêt de la santé de tous.

Le graphe suivant présente l'évolution depuis 2007 du nombre de journées avec des valeurs supérieures au seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en fonction des typologies de sites, sur la Région et sur le département de la Haute-Savoie. Il montre effectivement une tendance qui évolue à la baisse, mais aussi des variations annuelles dues aux conditions météorologiques qui peuvent influencer fortement le nombre de jours avec des épisodes de pollution.

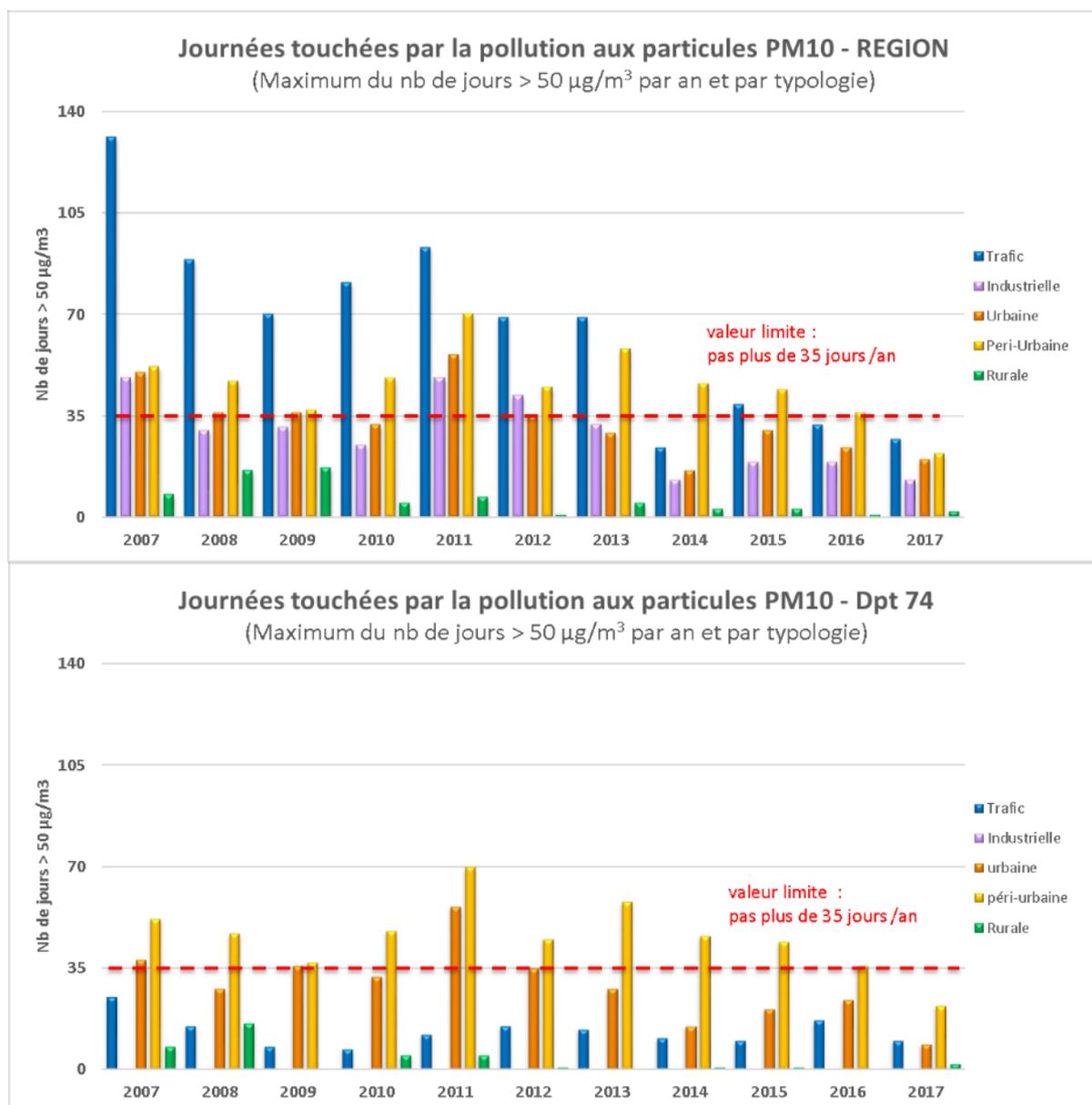


Figure 26 : Historique des dépassements de la valeur limite journalière en PM10 sur la région et en Haute-Savoie

Depuis 2007, les dépassements en fond périurbain correspondent chaque année à ceux constatés sur la station fixe de Passy. Malgré une baisse régulière observée depuis 2013, ce site a systématiquement dépassé la valeur limite journalière jusqu'en 2016.

Comparaison des niveaux sur différents sites

En proximité routière, le site des Bossons a toujours respecté la valeur limite journalière. Ces dernières années, les dépassements de la valeur de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y sont rares, contrairement à des sites trafic situés en zones urbaines comme A7 Sud Lyonnais et Grenoble – Le Rondeau.

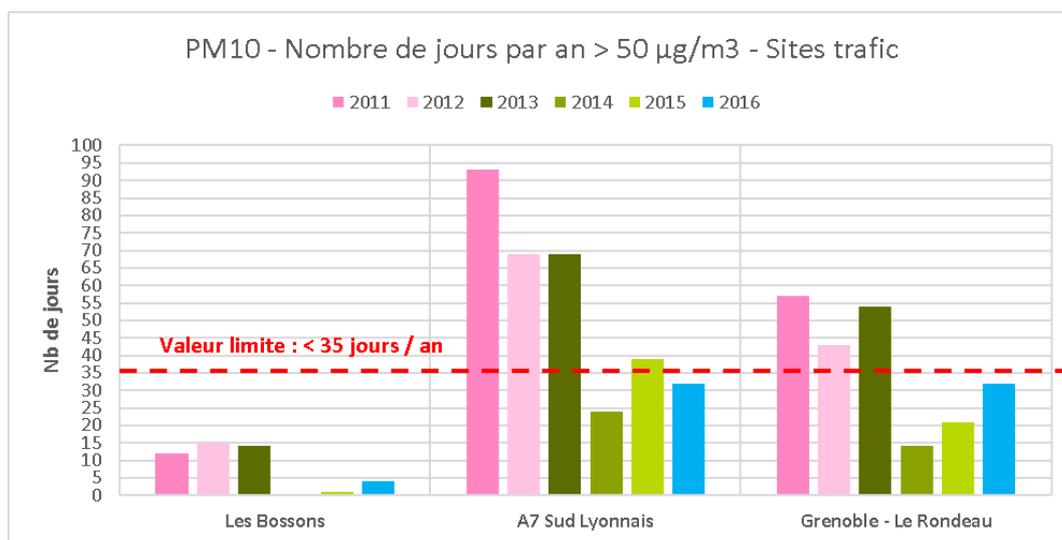


Figure 27 : Historique des dépassements du seuil de la VL journalière en PM10 en proximité automobile

En ce qui concerne les niveaux de fond, depuis plusieurs années, le site de Passy comptabilise un plus grand nombre de jours de dépassement du seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière que sur des sites de fond implantés dans des agglomérations telles que Lyon, Grenoble, Chambéry, Annecy ou Chamonix. Le graphe suivant présente également des mesures réalisées sur d'autres sites de la vallée de l'Arve, à Sallanches, Marnaz ou Magland, qui ont révélé à chaque fois un nombre inférieur de dépassements par rapport au site de Passy.

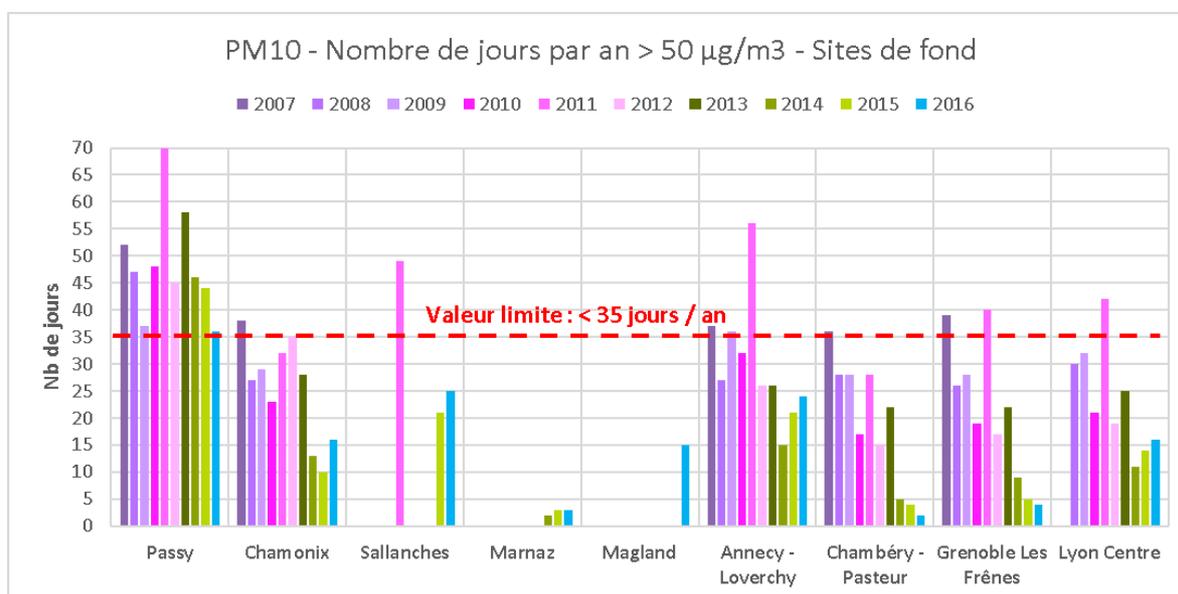


Figure 28 : Historique des dépassements du seuil de la VL journalière en PM10 en fond urbain

Par ailleurs, le graphe ci-après présente des mesures réalisées en simultané sur ces différents sites de la vallée de l'Arve, pendant un épisode survenu durant l'hiver 2016-2017. On peut observer que le seuil d'information a bien été dépassé pendant plusieurs jours sur la plupart des sites, mais que les niveaux sur le site de Passy sont nettement plus élevés.

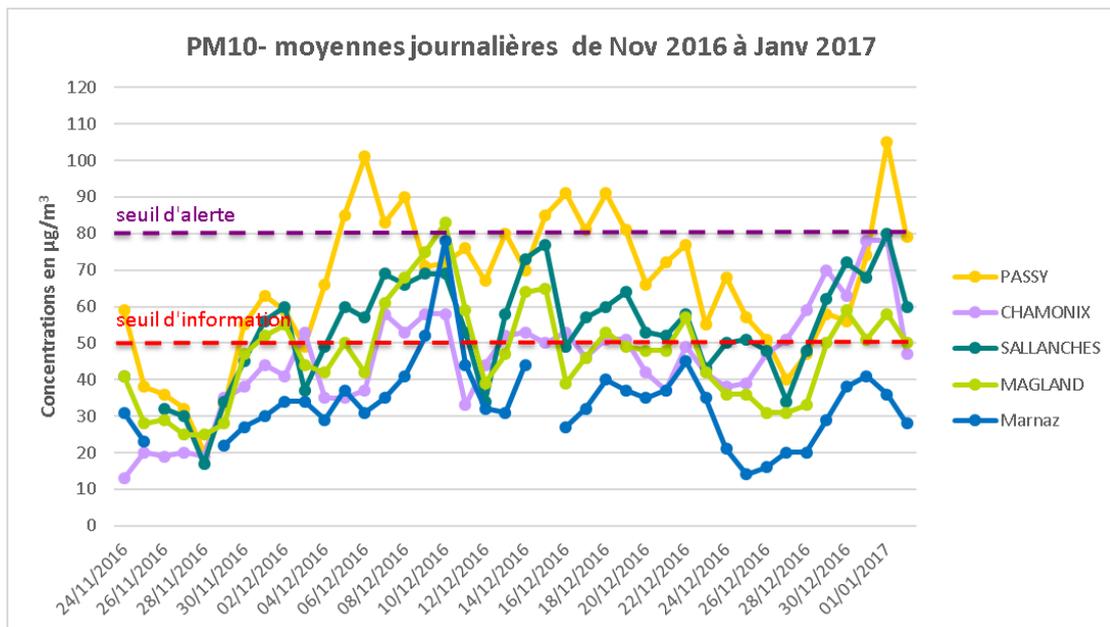


Figure 29 : Moyennes journalières en PM10 sur différents sites de l'Arve durant l'hiver 2016-2017

L'ensemble de ces mesures semble donc confirmer que les niveaux les plus élevés de la vallée de l'Arve se situent sur la zone de Passy/Chedde, du fait notamment de sa configuration topographique particulièrement enclavée, et qu'ils décroissent à mesure que l'on s'éloigne de ce secteur.

Les effets aggravants des conditions météorologiques

Au-delà de ces constats, il est primordial d'améliorer les connaissances de la dynamique atmosphérique à l'échelle de la vallée pour mieux comprendre comment les polluants émis sur le territoire se dispersent, notamment en conditions stables. C'est notamment l'objectif d'un des nombreux projets de recherche menés sur la vallée de l'Arve : le projet « LEFE » (débuté en 2014 porté par Météo-France et le LEGI -Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels- et financé par l'ADEME dans le cadre d'un partenariat avec le CNRS et Atmo Auvergne-Rhône-Alpes).

Il s'agit en particulier de tenter de répondre aux questions suivantes :

- Quels mécanismes expliquent les concentrations de particules en suspension particulièrement élevées observées en hiver dans la plaine de Passy ?
- Quels mécanismes expliquent l'évolution temporelle d'un épisode de pollution (évolution inter-journalière, cycle diurne) ?
- Quelle est la part de la dynamique atmosphérique par rapport à celle de la dynamique des sources de pollution (chauffage au bois, sites industriels, transport routier...) dans ces épisodes de pollution ?

Pour répondre à ces objectifs, le déploiement d'un grand nombre d'instruments de mesure a eu lieu dans la plaine de Passy lors de l'hiver 2014-2015.

Même s'il n'a pas encore livré tous ses résultats, ce projet possède déjà plusieurs indicateurs et plusieurs approches qui permettent d'envisager de relier les concentrations de particules aux conditions météorologiques.

Par exemple, le graphe suivant présente la relation entre la différence de température à 800 m (hauteur minimale de la couche d'inversion persistant du 9 au 12 février 2015) et à 50 m au-dessus du sol et la concentration en PM10 de la station de Passy. La bonne corrélation entre ces deux quantités sur la période d'observation suggère que cette approche pourrait fonctionner pour la plaine de Passy.

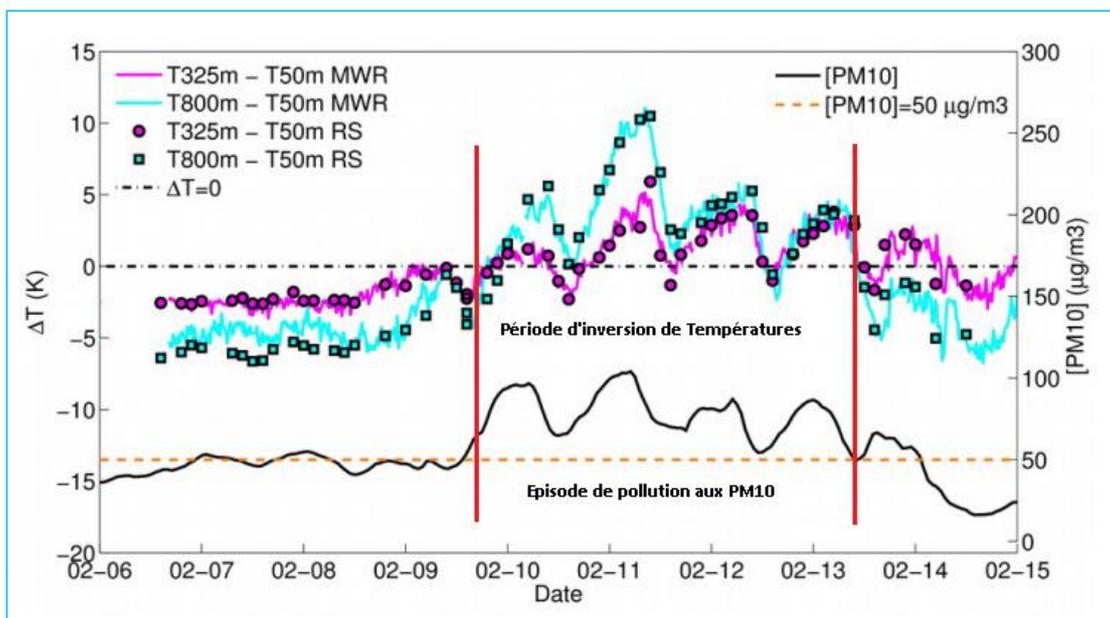


Figure 30 : Evolutions comparées des concentrations de PM10 et des différences de températures entre un point 50 m au-dessus du sol et différentes altitudes, mesurées à Passy en février 2015 (Programme LEFE)

Dans le cadre d'un autre programme de recherche (projet DECOMBIO, voir détails plus loin « Connaissances sur les sources et origine des particules »), il a également été montré que les concentrations de particules sont étroitement dépendantes des gradients thermiques dans les très basses couches de l'atmosphère, en particulier lors des périodes d'inversions thermiques.

Un exemple est présenté sur le graphe suivant, qui montre l'évolution des moyennes journalières de PM10 mesurées à Chamonix avec les différences de température entre le sol et une altitude de 165 m, avec des résultats très synchrones sur une période hivernale de plus de 3 mois (ici avec des Delta T°C positifs).

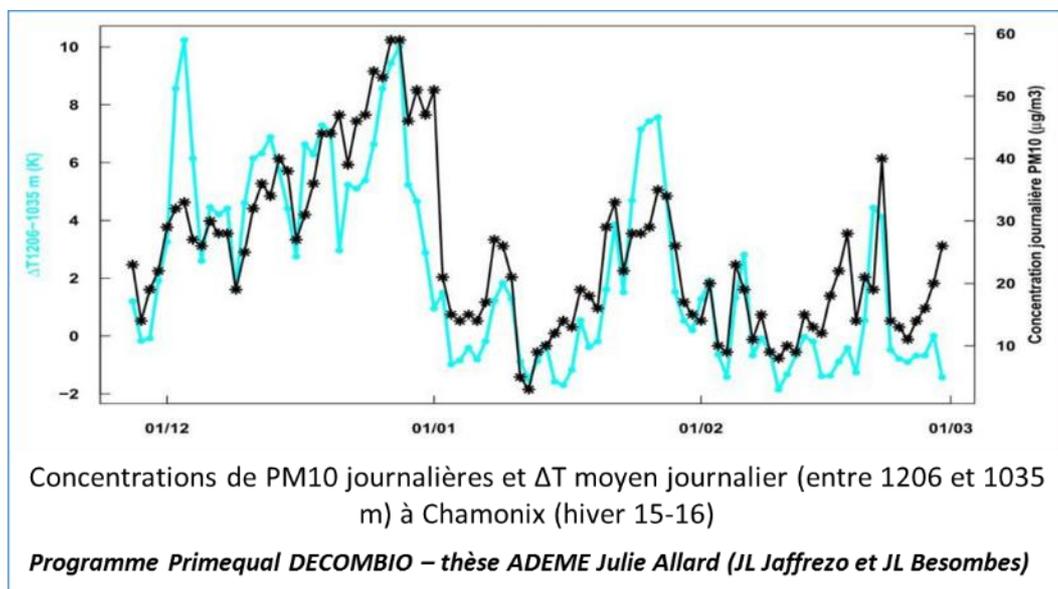


Figure 31 : Mise en parallèle des concentrations de PM10 sur Chamonix avec le gradient thermique

Ces travaux et leurs conclusions indiquent notamment que les actions induisant des réductions d'émissions devront tenir compte assez fortement des situations météorologiquement défavorables pour pouvoir atteindre les objectifs de qualité de l'air pour les particules fines.

Au quotidien les équipes d'ATMO Auvergne-Rhône-Alpes disposent dans la vallée des données d'un LIDAR⁷ vent et de capteurs météorologiques le long des pentes.

⁷ LIDAR : Light Detection And Ranging

Le LIDAR vent est un appareil optique qui permet de connaître la direction et la force du vent sur la verticale entre le sol et 500m avec une résolution spatiale verticale de 40m et avec un pas de temps de 10min en continue. Cet instrument est très utile pour analyser une situation, faire des prévisions au quotidien.

Les données sont visibles sur : <http://transalpair.eu/lidar/>

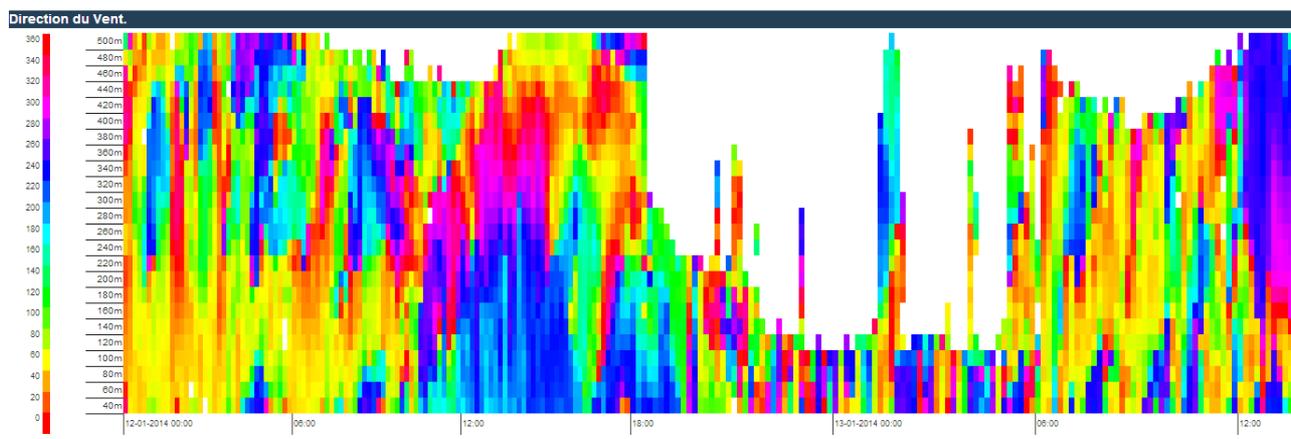


Figure 32 : Exemple de visualisation du LIDAR vent de Passy

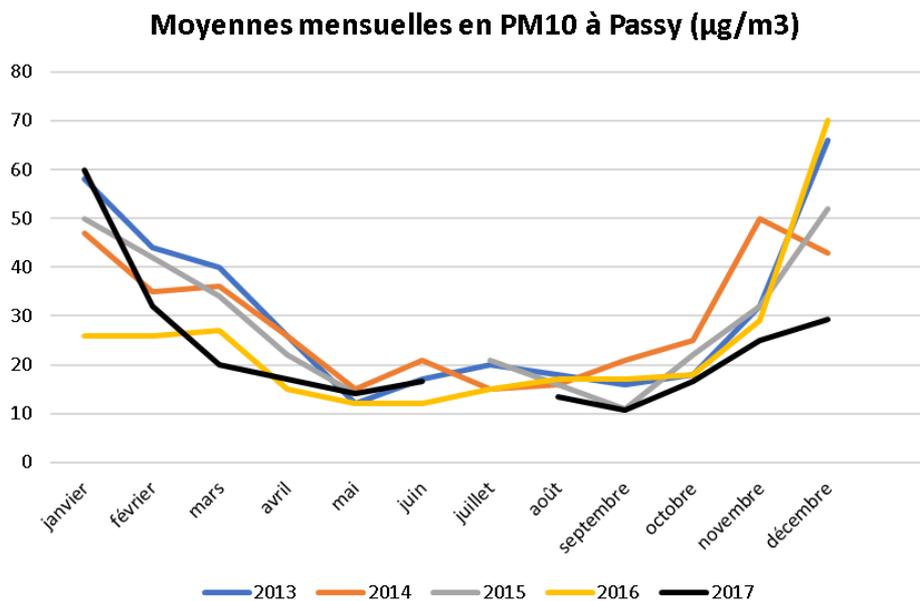
En complément de ce LIDAR, des stations météo mobiles autonomes sont disposés le long des pentes entre le bas de la commune de Passy et Passy Plaine-Joux. Les données de ces 4 stations disposées à 754m, 900m, 1171m et 1359m d'altitude permettent d'apprécier les situations d'inversions thermiques et leurs intensités. Ces données sont également très utiles au quotidien en période hivernale pour l'équipe de prévisionnistes d'ATMO Auvergne-Rhône-Alpes. Elles sont librement consultables sur : <http://transalpair.eu/smm/>. La station météo la plus élevées est équipée d'une webcam qui permet un rendu visuel toutes les 15 minutes.



Figure 33 : Exemple de vue de la webcam le 23/1/2017 9h45 (160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 à Passy)

Evolution temporelle des concentrations

Concernant le profil d'évolution sur l'année, comme pour le NO₂, les concentrations en PM10 varient en fonction des saisons, avec des niveaux moins élevés en période estivale et en hausse sur les mois d'hiver, en lien avec des conditions météorologiques plus stables et favorables à l'accumulation des polluants (exemples ci-dessus du site de Passy).



Pics mensuels de PM10 à Passy de 2013 à 2017 (nombre de jours de dépassements du seuil de 50 µg/m³)

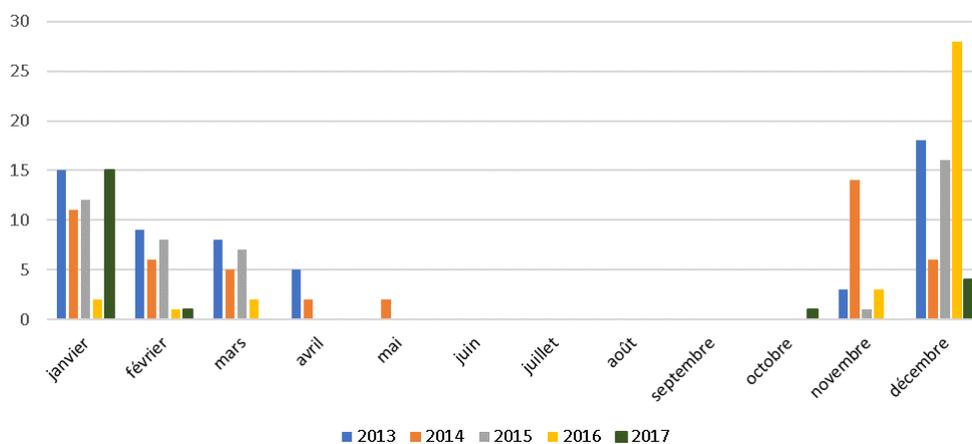
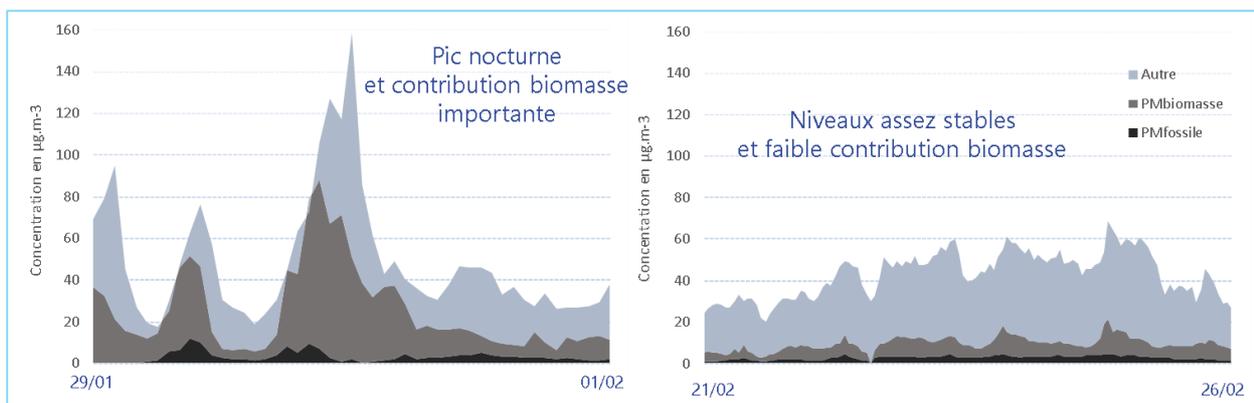


Figure 34 : Profils annuels des concentrations de PM10 sur le site de Passy

Concernant le profil journalier pour les particules (évolutions des concentrations moyennes heure par heure), il est variable mais peut souvent être corrélé en période d'épisode de pollution avec un indicateur représentatif de la combustion de biomasse. En effet, ATMO Auvergne-Rhône-Alpes dispose depuis quelques années d'appareils de mesures permettant de discriminer, dans la fraction carbonée des particules, la part liée à la combustion de biomasse de celle liée à la combustion de produits pétroliers (hydrocarbures).

Ci-dessous pour exemple une illustration avec deux situations très différentes enregistrées récemment sur Passy, permettant de mettre en évidence une origine différente des particules mesurées (sachant que d'autres situations sont possibles...).



PM fossile = particules issues de combustion d'hydrocarbures
 PM biomasse = particules issues de combustion de biomasse

Figure 35 : Estimation de la composition des particules PM10 lors de l'épisode du 31/01/2018 (à gauche)

De plus, l'évolution des taux de particules est très dépendante des phénomènes d'inversion de température, qui favorisent l'accumulation de polluants. L'inversion se forme en général en fin de journée, réduisant le volume d'air « disponible » pour diluer les polluants. Cela se traduit par une augmentation significative et souvent très rapide des taux de pollution dans la nuit, la rupture de l'inversion (quand elle se produit, ce qui n'est pas toujours le cas) n'ayant lieu que le matin suivant, lorsque le rayonnement solaire permet un peu de brassage d'air.

Pour en savoir plus : consulter les études « Calage des modèles d'aérodologie sur le sillon alpin » et « Étude de la stratification de l'atmosphère du PPA de l'Arve et du sillon alpin » (voir bibliographie)

Connaissances sur les sources et origines des particules

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.

Au cours de ces années de recherche, les outils se sont grandement améliorés dans tous les domaines. Ainsi, l'état de l'art a évolué sur l'identification des sources de particules avec des moyens permettant de quantifier leurs contributions dans les concentrations observées.

Parmi ces programmes, peuvent être citées :

Le programme PART'AERA

Le projet Part'Aera (2012-2014), piloté par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, financé par le programme de coopération transfrontalière franco-italien ALCOTRA et le Conseil Régional Rhône-Alpes, associait des partenaires français et italiens spécialistes de la qualité de l'air, et visait à approfondir et à harmoniser la connaissance sur les méthodes de mesurage et sur l'analyse de l'origine des particules.

L'objectif principal était **l'identification des sources d'émissions et l'estimation de leurs contributions aux concentrations de PM10**. Des mesures de composition chimique des particules ont été développées par les équipes scientifiques de l'IGE et du LCME et mises en œuvre pendant un an sur 4 sites (2 en France, 2 en Italie). La commune de Marnaz, côté haut-savoyard, a été choisie comme l'un de ces 4 sites de référence suivis pendant le projet, elle a fait l'objet de mesures intensives entre juillet 2013 et juillet 2014.

Principaux résultats :

Dans le cadre du programme PART'AERA, les résultats ont permis de quantifier la contribution de la combustion de la biomasse, qui représente une source majeure de particules dans la vallée de l'Arve, alors qu'elle apparaît moins importante sur les autres sites étudiés dans ce projet.

Par exemple, sur le graphe suivant, on peut voir qu'avec plus de 20% de la masse des particules en moyenne annuelle entre juillet 2013 et juillet 2014, la part de la combustion de la biomasse relevée à Marnaz se situe bien au-dessus de celles relevées dans les autres régions sur la même période (entre 4 et 12%).

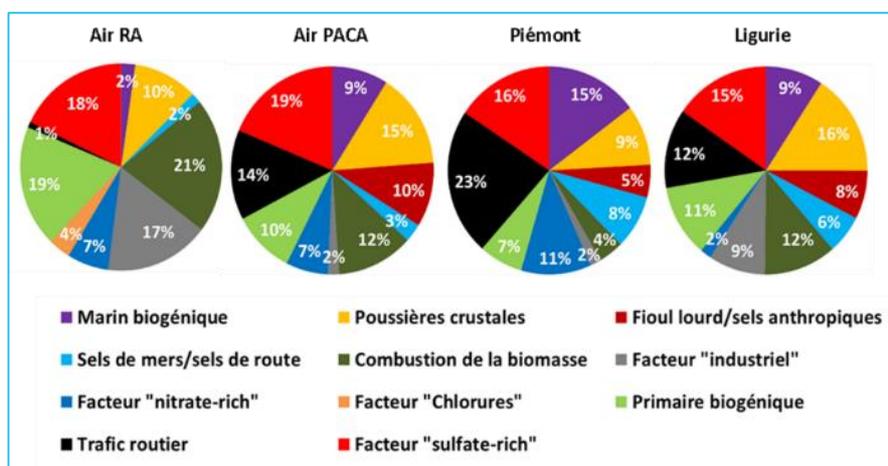


Figure 36 : Moyennes annuelles des contributions des sources pour les 4 sites de Part'AERA sur l'année 2013-2014, pour les sources identifiées via la méthodologie de détermination des sources par PMF 3.0

Ces résultats ont cependant montré que cette moyenne annuelle comprenait des grandes disparités, avec des contributions qui peuvent être largement différentes pendant certaines périodes spécifiques.

Par exemple, sur le graphe suivant, lors de l'épisode de pollution de décembre 2013, on peut voir que la combustion de biomasse représente la contribution principale des PM10, responsable de plus de 60 % des émissions (8% ont pu être attribués au trafic routier).

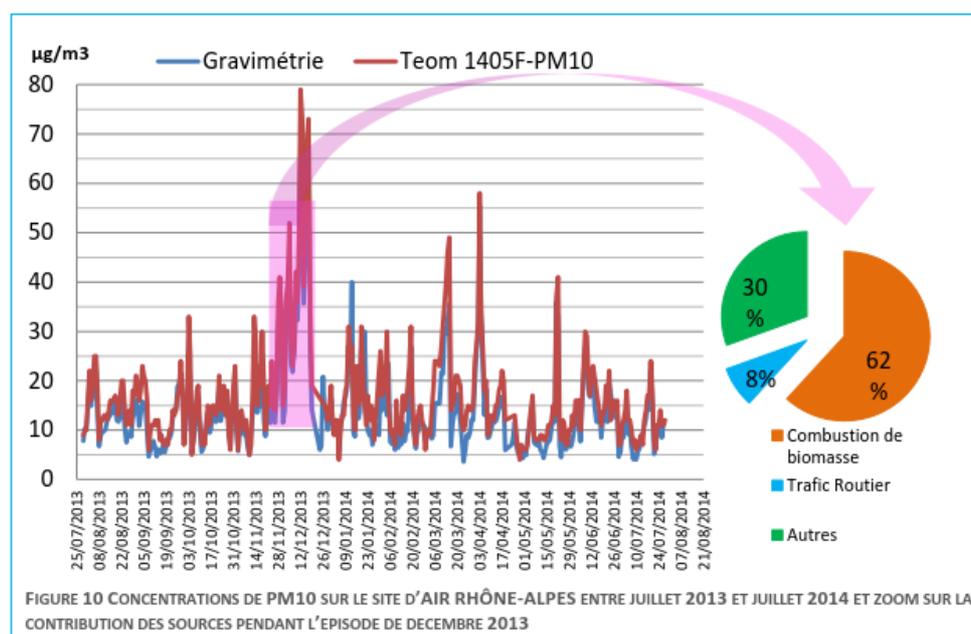


Figure 37 : Contributions des sources PM10 déterminées dans le cadre de Part'AERA lors d'un épisode hivernal

A contrario, lors d'un épisode en mars/avril 2014, la part de biomasse est moins prégnante, d'autres sources sont identifiées, comme les poussières crustales, de l'industrie ou les émissions de matières biogéniques (issues de la végétation), comme le montre le graphe suivant.

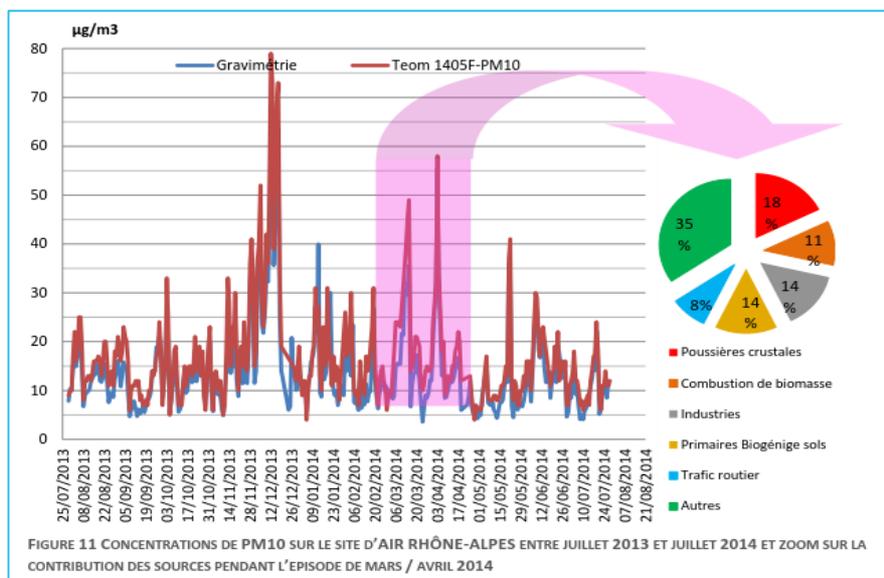


Figure 38 : Contributions des sources PM10 déterminées dans le cadre de Part'AERA lors d'un épisode printanier

Le programme CATOSI :

Le programme CATOSI (CAractérisation de Traceurs Organiques de Sources Industrielles) co-financé par le Conseil Régional Rhône-Alpes entre 2013 et 2014 dans le cadre de l'Arc Environnement a été coordonné par le LCME autour d'un partenariat avec la société SGL Carbon et 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.

Une première phase du projet avait pour but de caractériser de nouveaux traceurs organiques de sources industrielles dans les atmosphères des vallées de l'Arve et de la Tarentaise à partir d'échantillons collectés sur des sites sous influence ou au cœur de zones d'activités industrielles de transformation de matériaux carbonés fortement émettrices de HAP. Un second objectif concernait l'intégration de ces composés traceurs identifiés dans des méthodologies dites « modèles/récepteurs » de déconvolution des sources pour estimer leurs contributions dans les concentrations observées de particules (PM) et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Ces objectifs s'inscrivent dans la nécessité d'accroître les connaissances de l'influence des sources industrielles et à terme de donner accès à des informations directement utilisables par les acteurs de la gestion de la qualité de l'air.

Les mesures et prélèvements ont été réalisés sur plusieurs sites, avec des typologies différentes :

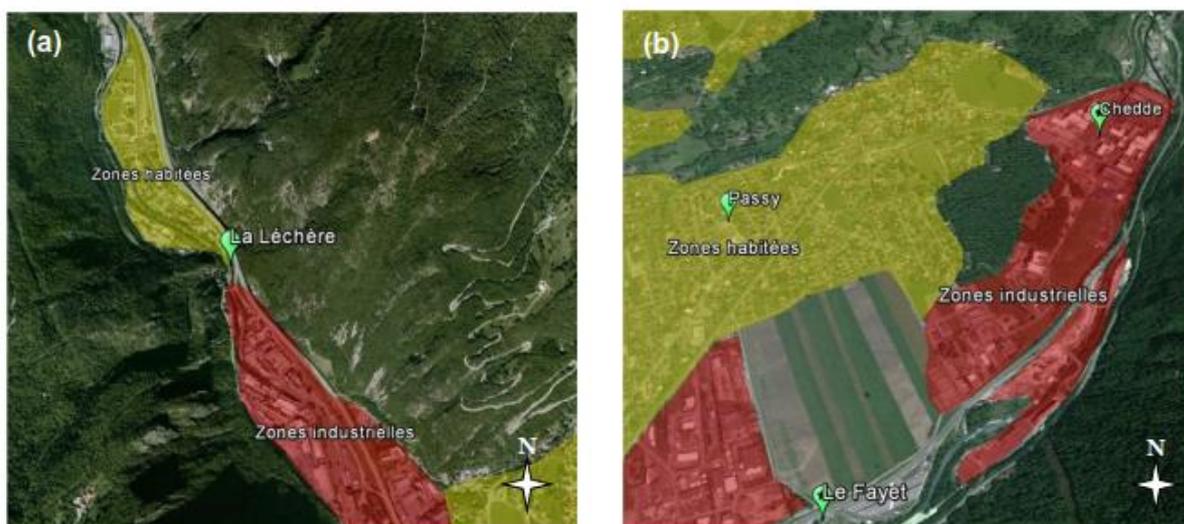


Figure 39 : Localisation des sites investigués dans le cadre du programme CATOSI : (a) dans la vallée de la Tarentaise et (b) dans la vallée de l'Arve.

En situation de fond :

Les sites de mesure de Passy et de La Léchère constituent des sites en fond de vallée de l'Arve et de Tarentaise respectivement.

En proximité trafic :

Des mesures ont été réalisées sur le site du Fayet qui se situe dans la vallée de l'Arve en bordure de l'autoroute blanche A40 dans la direction de Chamonix. Ce site avait déjà été investigué entre janvier et mars 2013 dans le cadre de l'étude salage/sablage réalisée par ATMO Auvergne-Rhône-Alpes (voir résultats plus loin).

En proximité industrielle :

Lors de la mise en place du projet CATOSI un partenariat étroit a pu être réalisé entre l'usine SGL Carbone (sur la commune de Chedde) et le laboratoire du LCME afin de mieux caractériser les émissions du site industriel. Ceci a permis de collecter un nombre d'échantillon sur deux sites en air ambiant et un site en air intérieur pour une caractérisation fine des émissions de site industriel. Les résultats de cette étude ont fait l'objet d'un rapport sur la caractérisation fine des émissions de l'usine SGL Carbone en juin 2014 et dont les résultats sont décrits dans la thèse de Benjamin Golly (voir bibliographie).

Les échantillons collectés sur les différents sites de prélèvements et dans la mesure du possible ceux provenant des prélèvements en proximité de la source industrielle ont fait l'objet d'un panel d'analyse très large afin de caractériser très finement leur composition chimique.

Les analyses effectuées par le LGGE ou le LCME sont les suivantes :

- Analyse de la matière carbonée (carbone organique et carbone élémentaire OC/EC)
- Analyse des espèces ioniques de l'aérosol par chromatographie ionique permettant la quantification des ions chlorures, nitrate, sulfate, sodium, ammonium, potassium, magnésium et du calcium
- Analyse des HAP par HPLC-Fluorescence permettant la quantification de 15 composés (Phénanthrène, Anthracène, Fluoranthène, Pyrène, Benzo[a]anthracène, Chrysène, Benzo[e]pyrène, Benzo[b]fluoranthène, Benzo[k]fluoranthène, Benzo[a]pyrène, Benzo[ghi]pérylène, Dibenzo[a,h]anthracène, Indéno[1,2,3-cd]pyrène, rétène et coronène)
- Analyse par GC-MS de la composante organique de l'aérosol, avec la quantification de près de 50 composés organiques, comprenant les familles de type hydrocarbures de C11 à C40, les hopanes, les HAP méthylés, les hydrocarbures aromatiques polycycliques soufrés (HAPS) et les monosaccharides anhydres (Lévoglucosan).
- Analyse de 33 métaux et éléments traces par ICP-MS. Cette analyse a été sous-traitée à un laboratoire extérieur accrédité (Tera-Environnement)

Principaux résultats :

Les méthodes utilisées pour retrouver les contributions relatives de chaque source dans les concentrations de particules observées s'appuient sur l'utilisation de profils chimiques de sources spécifiques et la détermination de composés organiques traceurs de ces sources au sein de ces profils.

Ainsi, les prélèvements effectués sur les différents sites de typologie industrielle ont permis de constituer un profil chimique caractéristique de « l'industrie du carbone », qui a été établi à partir de 18 composés sélectionnés en raison de leurs spécificités dans les émissions de cette industrie.

Le graphe ci-après présente un exemple d'application de cette méthodologie pour calculer la contribution des sources de PM10 dans la vallée de l'Arve, sur le site de Passy (fond) et sur le site du Fayet (trafic) en hiver 2013.

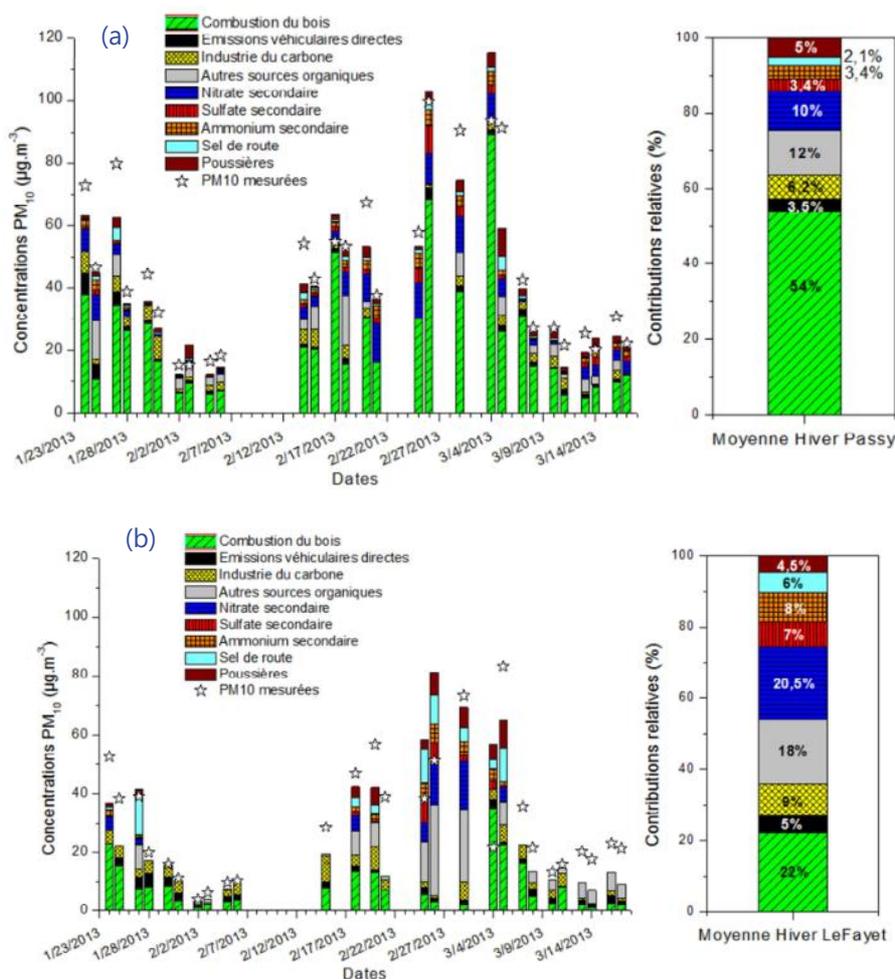


Figure 40 : Variations temporelles des contributions des sources de PM10 calculées par la méthodologie CMB dans la vallée de l'Arve en hiver 2013 : (a) sur un site de fond - Passy, (b) sur un site trafic - LeFayet

Ces résultats montrent 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 contributions importantes de composés organiques secondaire (sulfate, nitrate et ammonium) sont également mis en évidence par le modèle (presque 20%).
- Enfin, les proportions de source de composés organiques non identifiées par la méthode avoisine les 12% de la masse totale des PM10.

Sur le site du Fayet, en proximité trafic, la combustion du bois ne contribue plus que pour environ 1/4 de la masse totale des PM10 (22% en moyenne). La source de « sel de route » devient plus marquée (6%) mais la contribution moyenne émissions véhiculaires directes dans les concentrations de PM10 reste similaire à celle calculée à Passy (autour de 5%). La contribution des composés organiques secondaires devient en revanche prépondérante. Ces particules secondaires peuvent être liés à la présence d'une certaine réactivité atmosphérique se déroulant au sein des vallées alpines lors des phénomènes de brouillards très présents durant la période hivernale. Ces phénomènes de formation secondaire de particules restent encore à être confirmés mais semblent avoir un impact non négligeable sur les taux de PM observés, que ce soit en fond de vallée ou en proximité trafic.

Nous verrons plus loin, au chapitre du B(a)P et HAP, que la répartition de la contribution des sources de HAP est assez différente de celle des PM10.

Le programme DECOMBIO

Le programme DECOMBIO a été mis en place en octobre 2013 pour une durée d'expérimentation de 4 ans dans la vallée de l'Arve. Il est financé par l'ADEME dans le cadre du programme PRIMEQUAL-PREDIT, et le rendu final est attendu en 2018.

L'objectif général est de contribuer à l'évaluation sur le terrain de l'efficacité des mesures liées à la réduction des émissions de combustion de biomasse mise en place dans le PPA, en mesurant la contribution des sources de combustion de biomasse aux PM₁₀ sur les sites de mesure d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes dans la vallée, en parallèle du programme de rénovation des appareils de chauffage au bois les moins performants (Fonds Air Bois). Ce programme est coordonné par l'IGE, en partenariat avec le LCME, le LCE (Marseille), et « Aerosol d.o.o. », une société développant du matériel de mesure dans le domaine de l'environnement.

Les travaux entrepris dans le cadre de ce projet ont permis d'aller plus loin dans les recherches et de confirmer les acquis précédents avec plus de sites instrumentés, des analyses chimiques plus étendues et des outils numériques plus performants.

Principaux résultats :

Le graphe suivant présente les contributions des sources déterminées sur 3 sites (Marnaz, Passy, Chamonix). 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 % selon les sites. La source « trafic » ne représente que 5 à 10 %, dans ces zones plus ou moins urbanisées.

Les résultats sur la période d'été (non présentés ici) sont bien sûr très différents, avec des concentrations de particules beaucoup plus faibles et des contributions des sources biogéniques devenant importantes. A noter que ces résultats liés à l'analyse des particules corroborent les inventaires d'émissions calculés par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

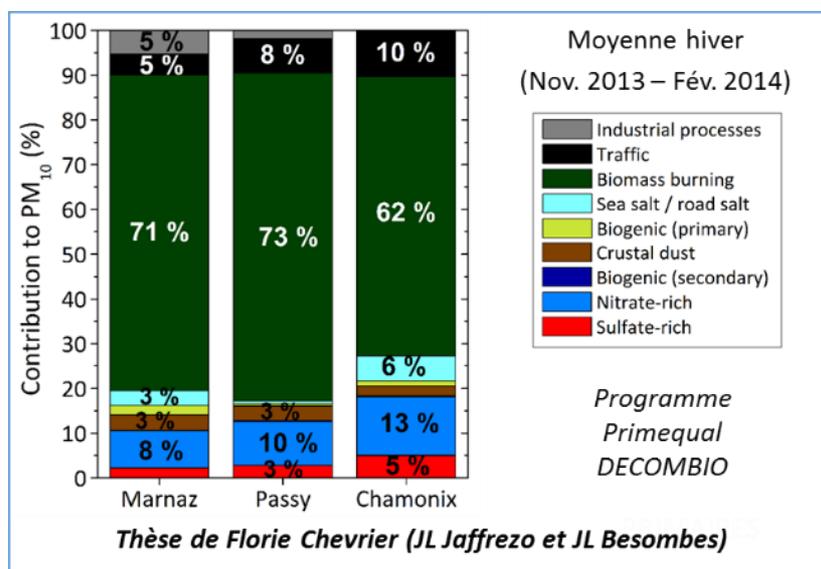


Figure 41 : Moyennes hivernales des contributions des sources pour les 3 sites de DECOMBIO sur l'année 2013-2014, pour les sources identifiées via la méthodologie PMF 5.2

Le programme DECOMBIO avait aussi pour objectif de valider l'utilisation d'un appareil (aéthalomètre AE33) permettant de mesurer en temps réel séparément les suies issues de la combustion de biomasse de celles des combustibles fossiles. Un appareil de ce type a été déployé sur chacun des 3 sites d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes sur les 4 années du programme (voir figure ci-dessous)

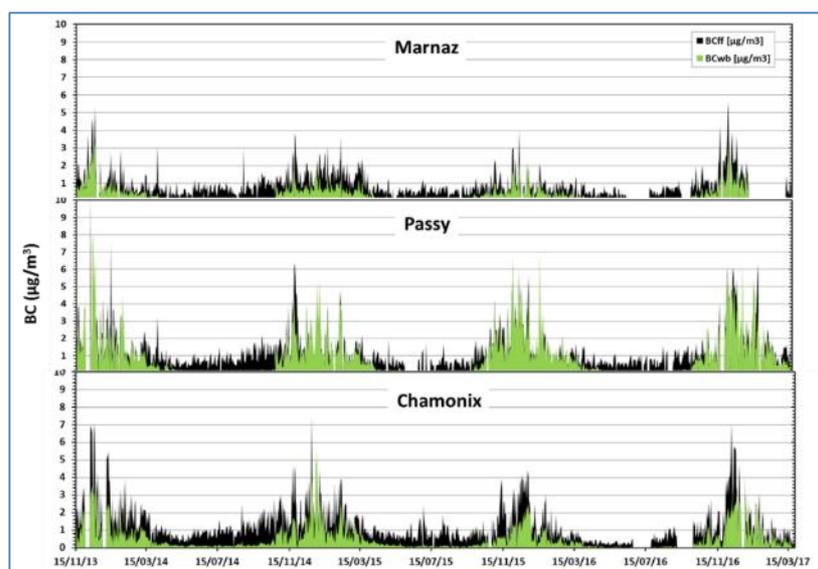


Figure 42 : Evolution des concentrations (horaires) des concentrations de suies issues de la combustion de la biomasse (BCwb, en vert) et de la combustion de fuels fossiles (BCff, en noir) pour les 3 sites de DECOMBIO

Pour chacun des sites, les suies émises par la combustion de biomasse présentent des concentrations qui deviennent dominantes à partir du début de l'hiver. Le site de Marnaz, avec une vallée plus ouverte sur les premières hauteurs et une typologie un peu plus rurale présente des concentrations plus faibles.

Courant 2017, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a acquis deux de ces appareils et mesure maintenant en continu à Passy et à Chamonix la part de contribution de la combustion de biomasse dans les concentrations ambiantes de particules.

Connaissances complémentaires

Influence des opérations de viabilité routière hivernales sur les concentrations de PM10 (2014 - ATMO Auvergne-Rhône-Alpes – étude terminée)

L'objectif de l'étude était de déterminer la contribution des pratiques du salage aux dépassements de la valeur limite journalière en PM10. La station de fond de Passy ainsi qu'un site de proximité routière (aire du Fayet) ont été instrumentés de janvier à mars et de novembre à décembre 2013. Un partenariat a été mis en place avec l'Institut de Géosciences et de l'Environnement de Grenoble, sur lequel Atmo Auvergne-Rhône-Alpes s'est appuyé pour les analyses chimiques de la composition des particules d'une part, et sur l'analyse scientifique des résultats d'autre part.

Les analyses réalisées durant l'étude ont permis notamment de montrer que :

- Les jours où la valeur limite journalière en PM10 est dépassée, la part du sel dans les PM10 représente en moyenne environ 2 % de la masse de PM10 en fond urbain et 9 % en proximité de l'autoroute.
- Pour les jours où les pratiques de salage sont les plus importantes, le sel contribue au maximum à 10% de la masse des PM10 en fond urbain et jusqu'à 60% en proximité de l'autoroute ; mais ce ne sont pas ces jours-là que les concentrations de poussières sont les plus importantes.

Par ailleurs, la figure ci-après montre qu'en 2013, sur les 58 jours de dépassements de la valeur limite journalière mesurés à la station de fond de Passy, aucun ne peut être attribué à la remise en suspension du sel de route.

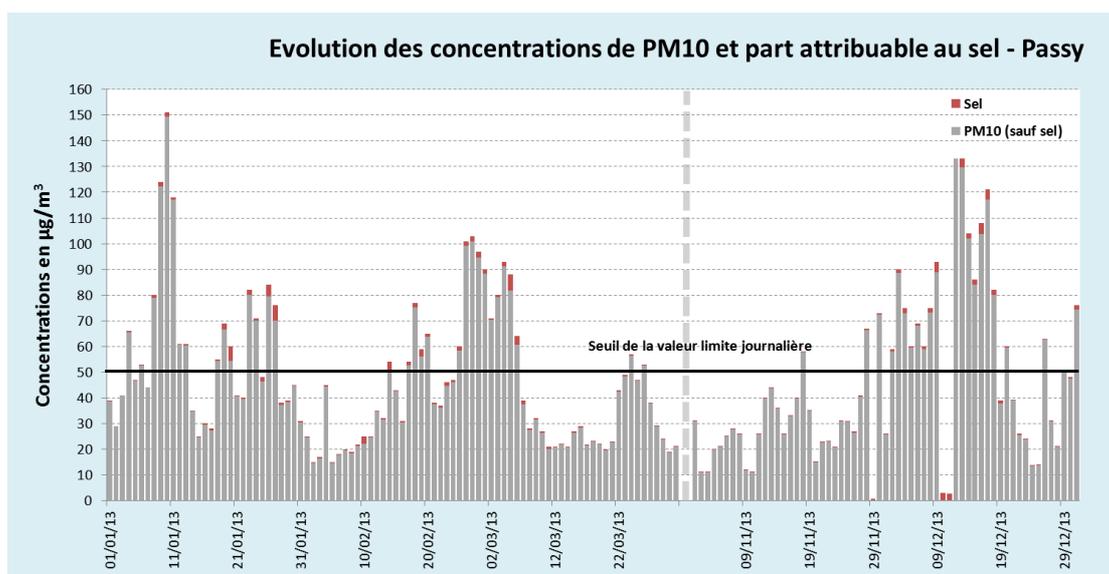


Figure 43 : Concentrations journalières de PM10 et contribution du sel - Passy

Et la figure suivante montre que l'impact en proximité routière directe (site du Fayet) est également limité, puisque seuls 3 à 5 dépassements sont attribuables à cette source pour l'année 2013 en période hivernale.

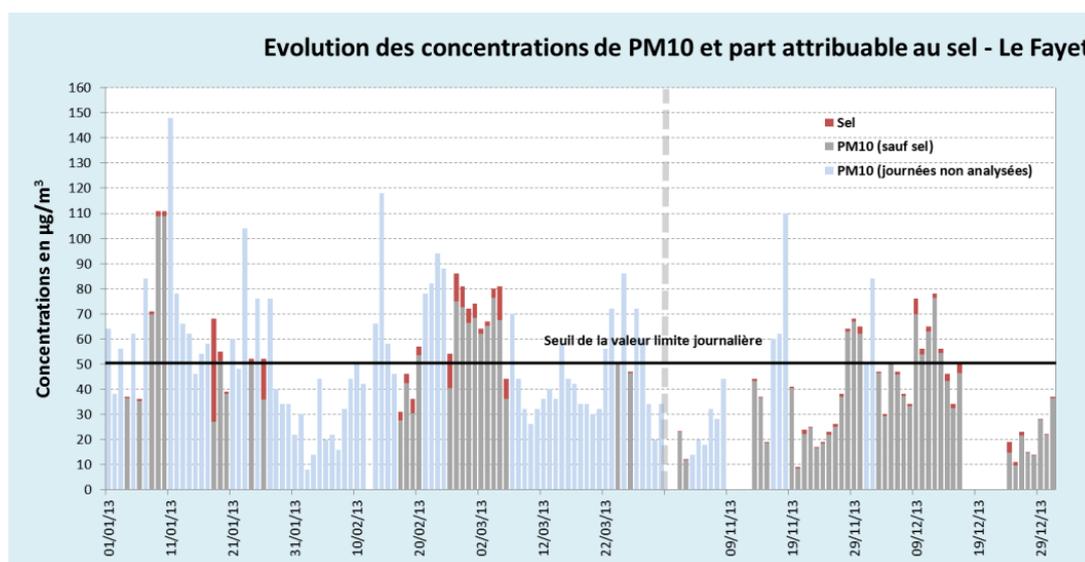


Figure 44 : Concentrations journalières de PM10 et contribution du sel - Le Fayet

Compte tenu de la faible baisse possible de niveau en soustrayant la contribution du sel dans les niveaux de PM10 (comme le prévoit la directive 2008/50/CE) des actions portant sur les pratiques de salage des routes ne seraient pas suffisamment efficaces pour abaisser les taux de PM10 au regard d'actions prévues ou entreprises dans le cadre du PPA sur le chauffage et sur les transports. En d'autres termes, l'arrêt du salage des routes aurait un impact négligeable et ne permettrait donc pas à lui seul un respect des valeurs limites en particules dans la vallée de l'Arve.

Impact de la prime « fond air bois » dans la vallée de l'Arve

Dans le cadre du PPA de la vallée de l'Arve, une action a été mise en place pour tenter de réduire les émissions du chauffage au bois avec une prime incitative au renouvellement des appareils non performants.

La dernière évaluation du PPA a permis d'estimer le gain attendu pour les émissions de particules : sur les 2247 dossiers contenus dans la base (avis d'acceptation du 15/07/2013 au 26/04/2017), 2177 ont été pris en compte pour l'évaluation. Cette différence est due aux informations contenues dans les dossiers qui ne nous ont pas permis d'évaluer les gains. Notons aussi que sur un objectif de 3200 dossiers en 4 ans, 30% pourraient encore être renouvelés, portant potentiellement à 25 tonnes le gain total du fond en PM10, et enfin que 100% des appareils renouvelés étaient réellement non performants.

Le parc qui a fait l'objet d'un remplacement est résumé sur les graphes suivants :

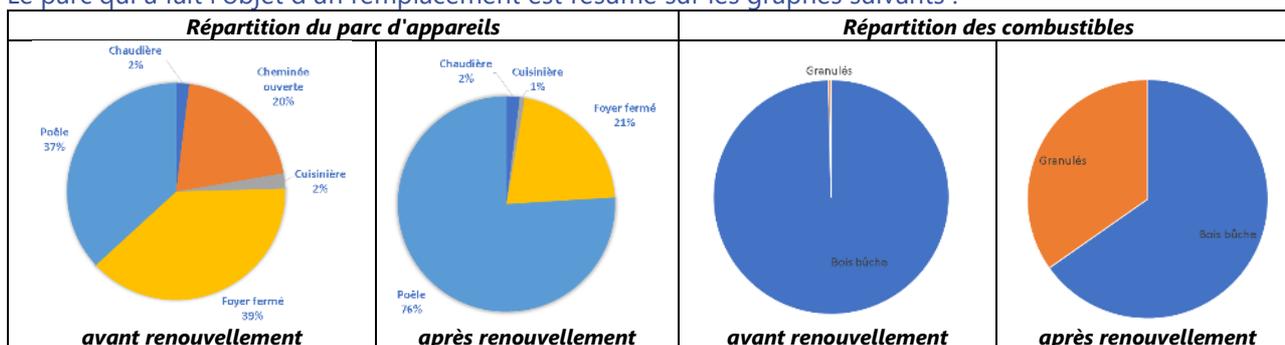


Figure 45 : Répartition du parc de chauffage au bois avant et après renouvellement

Le gain total obtenu par le renouvellement de 2177 appareils individuels peu performants de chauffage au bois dans le cadre du fond bois de la vallée de l'Arve est de 17,8 tonnes de PM10 sur les 21 tonnes émises par les appareils initiaux, soit un gain moyen par dossier de 7,9kg.

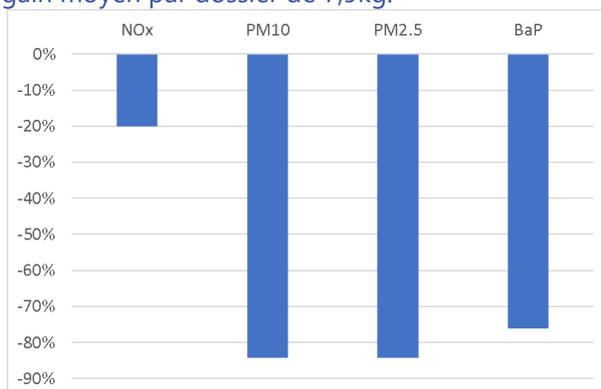


Figure 46 : Gain en émissions de polluants pour les appareils renouvelés par le fond bois

La carte suivante présente la part des gains en émissions répartis par commune.

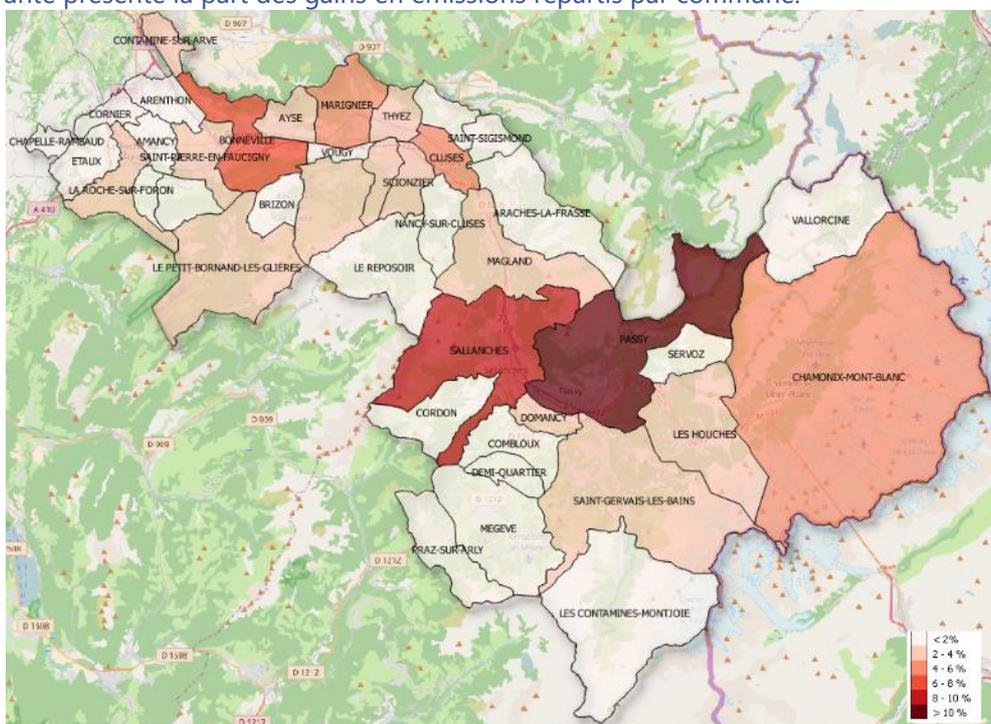


Figure 47 : Part des gains communaux en émissions de PM10 avant / après renouvellement du fond air bois

Localement les gains sont très variables, en fonction du nombre d'appareils remplacés dans la commune. A noter tout de même que les gains les plus élevés se situent sur les communes de Passy et Sallanches, qui sont jusqu'à aujourd'hui les plus impactées par la pollution aux particules ou au B(a)P (voir partie suivante).

Influence des flux touristiques aux accès de stations de ski (2014 – étude terminée)

Dans le cadre de cette étude d'évaluation de l'impact du trafic routier touristique sur la qualité de l'air, **les mesures de terrain ont mis en évidence la sensibilité des routes d'accès aux stations de ski pour les concentrations de particules (PM10)**. En effet, 3 des 7 secteurs étudiés se sont révélés être susceptibles de dépasser la valeur limite journalière réglementaire dont les deux sites de la vallée de l'Arve.

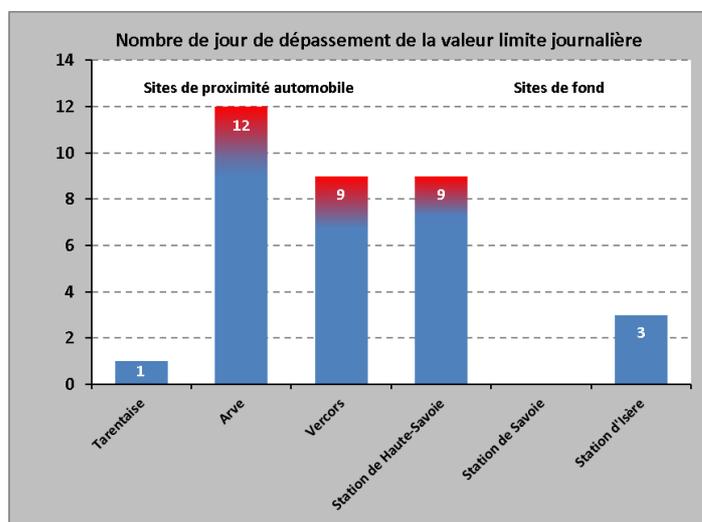


Figure 48 : Nombre de dépassements de la VL journalière en PM10 relevés durant les campagnes

Les pistes de connaissances à approfondir

Les différents travaux de recherche menés sur la contribution des sources de particules, au travers de l'analyse de leur taille et de leur composition chimique, sont essentiels pour améliorer la compréhension des phénomènes et des interactions à l'origine des épisodes de pollution, pour pouvoir évaluer l'impact des actions menées pour réduire les sources d'émissions (limitation/restriction de circulation, renouvellement d'appareils de chauffage, réductions d'émissions industrielles,...), mais également à plus long terme pour améliorer les connaissances sur le changement climatique ainsi que sur les impacts sanitaires.

Pour Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, ces travaux ont permis entre autres d'acquérir des connaissances scientifiques et techniques et de compléter le réseau de mesure avec des analyseurs continu capable d'estimer la part de contribution de la combustion de biomasse (lié principalement au chauffage au bois) et celle du fuel fossile (lié principalement au trafic ou industries) dans les concentrations de particules.

A court ou moyen termes, il serait important de pouvoir intégrer ces informations dans les chaînes de modélisation pour améliorer les outils de prévision de la qualité de l'air.

La connaissance des sources de particules du territoire est également un enjeu d'amélioration continue pour l'inventaire des émissions et par voie de conséquence pour la modélisation.

Au niveau du secteur industriel l'estimation réalisée pour le parc des petites entreprises est à ce jour réalisé par recoupements statistiques et une connaissance plus exhaustive des installations permettrait de d'améliorer la quantification des émissions. Certains émetteurs sont également peu documentés (activités de décolletage par exemple) et des études d'amélioration des connaissances sont à menés sur des secteurs précis.

Les facteurs des émissions sont également des données en amélioration continue et des progrès sont encore à réaliser dans la prise en compte des émissions du chauffage au bois en condition réelle de fonctionnement des installations. Il serait également intéressant sur les installations de combustion au sens large d'avoir une meilleure connaissance des heures de fonctionnement et usages (les entreprises travaillent-elles 24h/24 ? Les particuliers chargent-ils une dernière fois la cheminée avant de se coucher ? etc...).

2.4 Le Benzo(a)Pyrène / les HAP

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont des composés à base de carbone et d'hydrogène. Il existe plusieurs dizaines de HAP, avec une toxicité variable. Les HAP se forment par évaporation mais sont principalement rejetés lors de la combustion de matière organique, comme par exemple la combustion domestique du bois et du charbon, notamment en foyer ouvert ou avec des appareils non performants (où les conditions de combustion sont mal maîtrisées).

Parmi les HAP, le benzo(a)pyrène est pour l'instant le seul composé soumis à une valeur réglementaire : la valeur cible à respecter en moyenne annuelle est fixée à 1 ng/m^3 ($= 0,001 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

(voir plus de détails en Annexes : le B(a)P et autres Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques).

Historique des niveaux en B(a)P

A l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes, l'historique de la mesure des HAP et du BaP remonte au début des années 2002. Sur le territoire de la vallée de l'Arve, la première mesure sur le site de Passy remonte à 2008. Depuis 2010, la surveillance réglementaire du BaP est réalisée sur ce site chaque année, et des mesures ponctuelles ont été faites certaines années sur d'autres sites, comme à Sallanches ou Marnaz.

Le graphe ci-dessous présente l'évolution des niveaux mesurés sur Passy et quelques autres sites de comparaison depuis 2011.

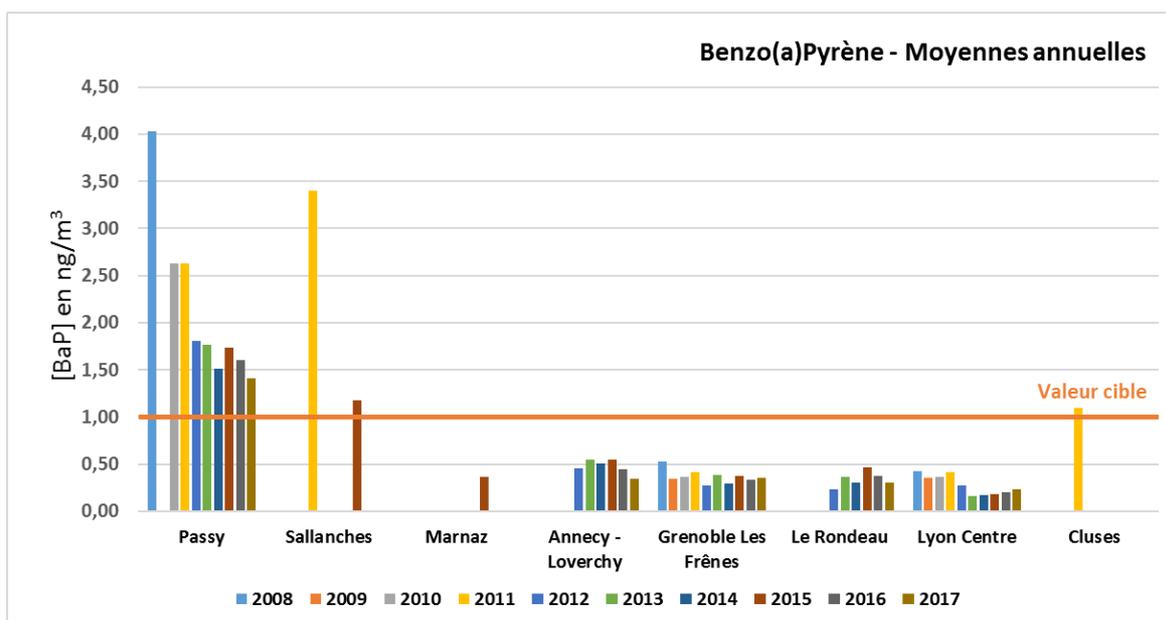


Figure 49 : Historique des niveaux en moyennes annuelles pour le B(a)P

Les niveaux les plus élevés sont observés sur le site de Passy. Après une forte baisse jusqu'en 2012, les niveaux semblent stagner sur la station fixe de Passy. La valeur cible annuelle (1 ng/m^3) n'était pas respectée depuis les premiers relevés en 2008 jusqu'en 2016. En 2017 la valeur pour ce composé était de $1,41 \text{ ng/m}^3$.

Les niveaux mesurés à Sallanches sont également relativement élevés, supérieurs à ceux de Passy en 2011 mais inférieurs en 2015. A Marnaz, la faible concentration en moyenne annuelle mesurée en 2015 semble indiquer que la pollution au B(a)P est circonscrite entre les verrous topographiques de Cluses et de Passy.

Par ailleurs, on note que les concentrations mesurées dans d'autres agglomérations de la région sont nettement inférieures à celles relevées dans cette vallée.

Répartition spatiale du B(a)P

La carte ci-dessous présente la cartographie modélisée du B(a)P en moyenne annuelle en 2016.

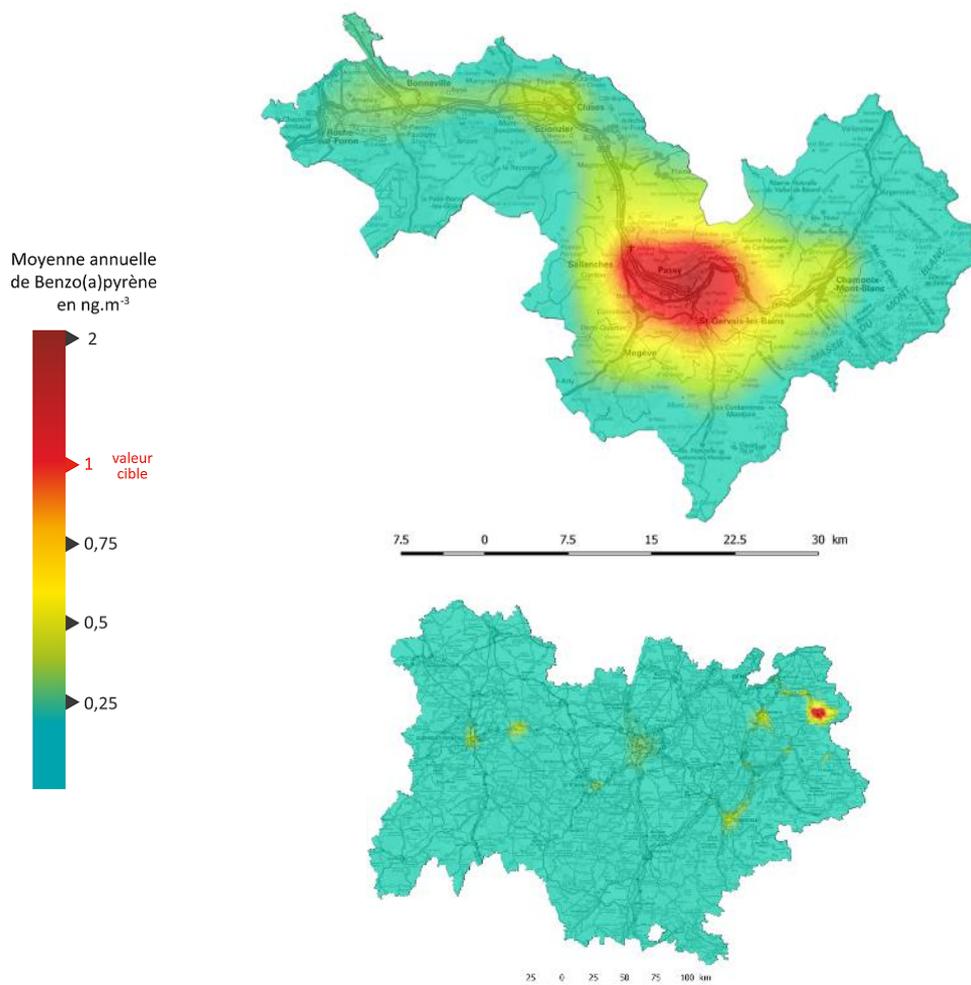


Figure 50 : Cartographie des moyennes annuelles en B(a)P en 2016 dans la Vallée de l'Arve (en haut) et sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (en bas)

En 2016, la vallée de l'Arve constituait la seule zone d'Auvergne-Rhône-Alpes dépassant encore la valeur cible, principalement sur la zone de Sallanches-Passy.

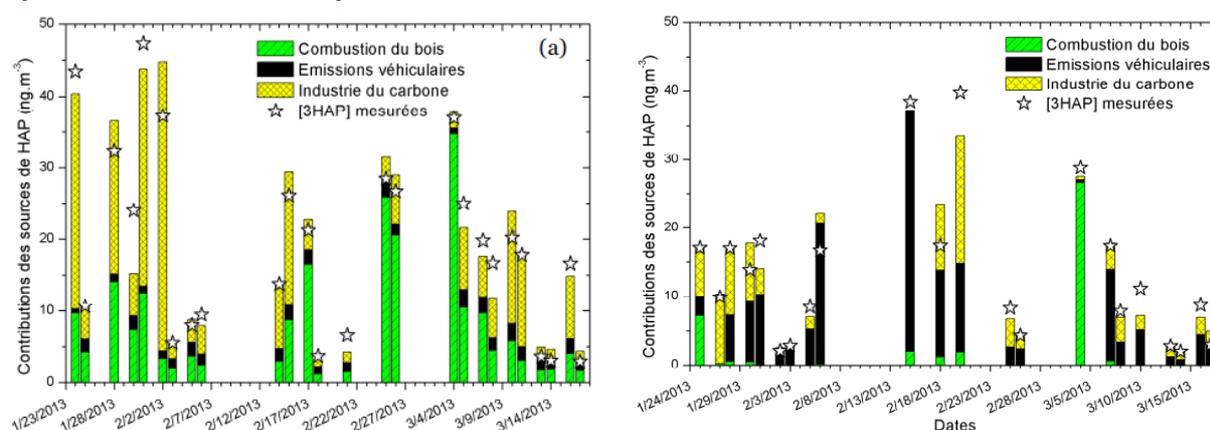
Connaissances complémentaires

Dans le chapitre « Connaissances sur les sources et origines des particules », nous avons évoqué le programme CATOSI qui avait pour objectif 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. Nous avons vu, entre autres, les résultats de la contribution des sources dans les concentrations de particules PM10. L'ensemble des méthodes utilisées et résultats sont décrits dans la thèse de B.Golly (voir bibliographie).

Principaux résultats :

Des mesures de HAP ont pu être réalisées sur plusieurs sites autour et au sein de l'établissement SGL Carbone, qui ont mis en évidence la présence d'hydrocarbures aromatiques polycycliques soufrés (HAPS) en concentrations significatives. Plusieurs autres mesures de ces composés ont été réalisées sur des sites de proximité de source, potentiellement émettrice comme les émissions véhiculaires. Mais ces composés n'ont pas été détectés en bordure de rocade, en accord avec la diminution des taux de soufre dans les carburants, imposés par les normes européennes.

Par ailleurs, grâce à l'utilisation de traceurs spécifiques et d'approches novatrices sur l'identification des sources, il a été possible de calculer la contribution des sources de HAP dans la vallée de l'Arve, sur le site de Passy (fond) et sur le site du Fayet (trafic) en hiver 2013 :



Sites	PM10			HAP		
	Industrie	Véhiculaire	Combustion de biomasse	Industrie	Véhiculaire	Combustion de biomasse
Passy (Arve)	6% (± 6%)	4% (± 3%)	54% (± 16%)	45% (± 21%)	14% (± 9%)	41% (± 20%)
Le Fayet (Arve)	9% (± 12%)	5% (± 9%)	22% (± 19%)	39% (± 22%)	53% (± 25%)	8% (± 22%)

Figure 51 : Contributions des sources de HAP dans la vallée de l'Arve en hiver 2013 : (a) Passy (fond) ; (b) Le Fayet (trafic).

En niveaux de fond de vallée, sur le site Passy :

Les résultats montrent bien l'importance de la part « industrie du carbone » vis-à-vis des HAP, avec une contribution moyenne d'environ 45%, et une contribution journalière pouvant atteindre 90% des concentrations observées dans la vallée de l'Arve. Ils confirment également l'impact non négligeable du chauffage au bois (2^{ème} source d'émissions) sur les concentrations de HAP avec des contributions moyennes d'environ 40%.

En proximité du trafic, sur le site Le Fayet :

La source véhiculaire apparaît comme majoritaire (53%), alors qu'elle ne contribue que faiblement aux concentrations en PM10 sur ce même site (5%) et en HAP sur le site de Passy (14%). L'influence de la part « industrie du carbone » n'est pas négligeable non plus (39% en moyenne). Enfin, la combustion de la biomasse, malgré sa faible contribution moyenne (8%), elle peut atteindre un maximum de 97% de contribution en HAP (par exemple le 4 mars 2013, avec une contribution aussi élevée sur le site de Passy à la même date).

Les pistes de connaissances à approfondir

Comme nous l'avons vu, au cours de ces dernières années, de nombreux travaux de recherche ont été menés pour améliorer l'état de l'art sur l'identification des sources de particules avec des moyens mis en œuvre pour permettre de quantifier leurs contributions dans les concentrations observées.

Il faut bien sûr prendre des précautions dans l'interprétation des résultats, car les méthodes utilisées se basent sur des profils qui ne tiennent pas encore compte de toutes les sources (dans le secteur industriel notamment) et avec des hypothèses et des méthodes de calcul qui engendrent des incertitudes. De plus, ces travaux nécessitent un grand nombre de mesures, et donc des financements importants, et demandent également du temps (plusieurs années) pour analyser et interpréter les résultats.

Pour ATMO Auvergne-Rhône-Alpes, il faut aussi prendre du temps pour assimiler les connaissances et pouvoir les rendre accessibles à un large public, que ce soit au niveau des populations ou des différents acteurs du territoire.

Néanmoins, les perspectives de ces travaux de recherche sont nombreuses avec plusieurs améliorations possibles. L'exploration des composés HAPS sur de nombreux autres sites en France et en Europe permettrait une amélioration de l'identification de l'ensemble de leurs sources. Les modèles utilisés (régression non linéaire) restent encore à être évalués sur un nombre de sites plus importants mais ils constituent une alternative intéressante aux méthodologies classiques pour l'étude des sources de HAP. Notamment, en intégrant également des données météorologiques, il serait sans doute possible d'envisager un développement des résultats du modèle afin de pouvoir quantifier l'influence des inversions thermiques sur les concentrations observées, particulièrement au sein des vallées alpines en hiver. Dans un souci de répondre à la réglementation, ces approches pourraient être appliquées à seulement quelques HAP dont le benzo(a)pyrène. Ces résultats continuent d'être exploités dans le cadre du projet DECOMBIO, qui porte sur l'évaluation des politiques de modernisation du parc d'appareils de chauffage au bois à l'échelle de la vallée de l'Arve.

Enfin, à l'instar des PM10, il serait intéressant d'améliorer les connaissances sur l'inventaire et le cadastre des émissions de HAP (facteurs d'émissions, sources canalisées et diffuses...). Notamment sur le secteur industriel et le chauffage au bois non performant qui sont les deux grands émetteurs de HAP.

2.5 Les composés organiques volatils (COV)

Connaissances générales

La famille des Composés Organiques Volatils (COV) regroupe toutes les molécules formées d'atomes d'hydrogène et de carbone (hydrocarbures) comme le benzène (C₆H₆) et le toluène (C₇H₈). Ils proviennent de sources mobiles (transports), de procédés industriels (industries chimiques, raffinage de pétrole, stockage et distribution de carburants et combustibles liquides, stockages de solvants) mais également d'usages domestiques (utilisation de solvants, application de peinture). Dans l'atmosphère, les COV interviennent principalement en tant que précurseurs dans le phénomène de la pollution photo-oxydante pour former de l'ozone, en réagissant notamment avec les oxydes d'azote.

Parmi les composés organiques volatils (COV), le benzène est pour l'instant le seul polluant soumis à des valeurs réglementaires, avec une valeur limite fixée à 5 µg/m³ en moyenne annuelle (depuis le 01/01/10) et un objectif de qualité de 2 µg/m³ en moyenne annuelle.

A l'échelle de la région, le benzène fait l'objet d'une surveillance depuis de nombreuses années, que ce soit en fond urbain, en proximité trafic ou en proximité industrielle. Sur les 10 dernières années, on observe pour ce composé une décroissance forte des niveaux (-54% en 2016 par rapport à 2007) et très peu de dépassements réglementaires (en proximité industrielle uniquement).

Sur le territoire de la Vallée de l'Arve, compte tenu des évaluations effectuées jusqu'à présent, il n'y a pas d'obligation de surveillance réglementaire pour le benzène.

Connaissances complémentaires

Quelle est la contribution industrielle à la présence des Composés Organiques Volatils dans la vallée de l'Arve ? (2012 – étude terminée)

La vallée de l'Arve présente de nombreuses entreprises spécialisées dans le domaine du décolletage et de la mécanique de précision. Le nombre d'entreprises est estimé à 800 PME de sous-traitance mécanique dont plus de 500 sont spécialisées dans le décolletage. La vallée a été retenue pour être un pôle de compétitivité spécialisé dans les activités d'usinage et de la mécanique de précision. Ces activités induisent une utilisation importante de solvants de dégraissage et d'huiles de coupe qui peuvent se retrouver dans l'atmosphère soit par émission diffuse (dans les ateliers et ensuite à l'extérieur), soit dans les rejets des extractions d'air des unités industrielles les utilisant.

A ce titre, ATMO Auvergne-Rhône-Alpes a réalisé en 2012 une étude spécifique de la qualité de l'air dans la vallée de l'Arve, afin d'améliorer les connaissances en matière de composés organiques volatils.

Les principaux enseignements qui en ressortent :

(voir cartes ou graphes page suivante)

- Tout d'abord les composés chlorés sont effectivement présents dans la vallée. Le suivi temporel a révélé que les concentrations peuvent varier très fortement d'une journée à l'autre. Cette variabilité peut avoir de multiples facteurs : météorologie, activités des entreprises, ...
- Le tétrachloroéthylène et le trichloroéthylène sont les deux composés qui apparaissent à des concentrations significatives, ces molécules étant des traceurs de l'industrie du décolletage.
- Le secteur Cluses-Marnaz-Scionzier apparaît comme le plus impacté pour ce secteur industriel. Le trichloroéthylène est également très présent sur Sallanches.
- La vallée de l'Arve montre les plus fortes valeurs de tétrachloroéthylène et de trichloroéthylène en Rhône-Alpes. En effet, la quasi-totalité des sites investigués se situent au-dessus des sites de référence (urbains et industriels) de la région.



Figure 52 : Etude des COV dans la vallée de l'Arve (2012-2013) – localisation des 21 sites de mesures

Le graphique suivant montre l'évolution des concentrations lors des 2 campagnes de mesures (été/hiver) sur le site de référence implanté à Cluses. Pour plus de clarté, seuls 8 composés avec les niveaux les plus élevés sont représentés.

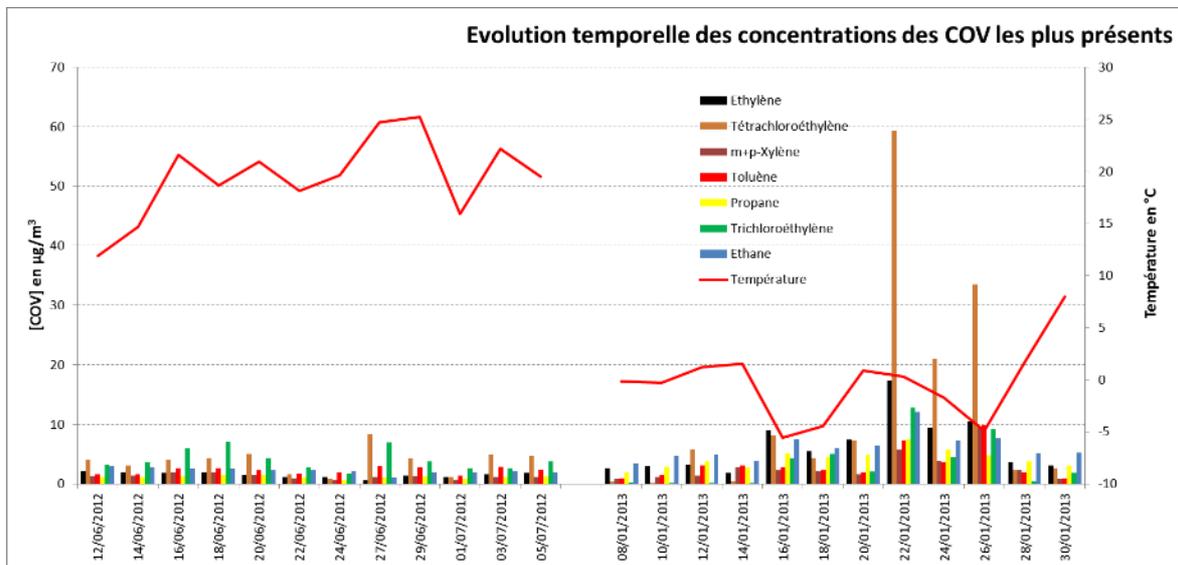


Figure 53 : Etude des COV dans l'Arve – Evolution temporelle des concentrations sur le site de référence (Cluses)

Les concentrations les plus fortes se rencontrent en hiver qui est la saison propice à l'accumulation des polluants, en raison notamment des conditions météo. C'est particulièrement visible pour le tétrachloroéthylène pour lequel des pics de concentrations très élevées ont été relevés entre le 22 et le 26 janvier. L'intensité du pic et le fait que les autres polluants soient restés dans des gammes de concentrations très inférieures font penser à une source très spécifique et ponctuelle.

Cette observation ne permet donc pas de conclure complètement sur le comportement de ces polluants durant tout l'hiver dans la vallée de l'Arve mais elle montre que les concentrations peuvent atteindre des niveaux élevés de manière très ponctuelle et localisée.

Les graphiques suivants présentent les concentrations moyennes pour chaque composé sur les 21 sites de mesures étudiés dans le cadre de cette étude dans la vallée de l'Arve.

Les intervalles de couleur (vert foncé/vert clair) correspondent aux statistiques calculées à partir de sites de référence (graphe de gauche). Cette représentation permet de situer les points de mesures étudiés (●) aux profils mesurés sur des sites de typologie urbaine (graphe du haut) ou industrielle (graphe du bas).

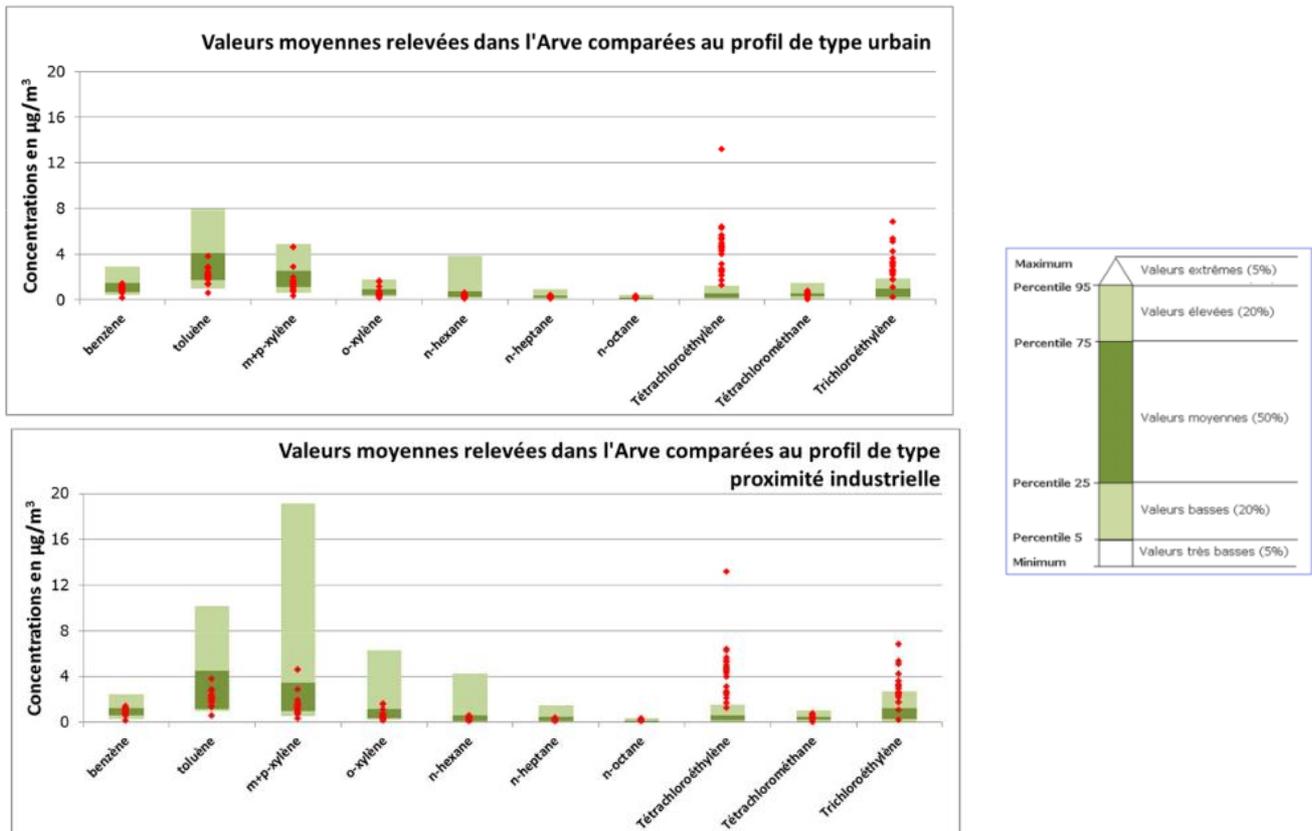
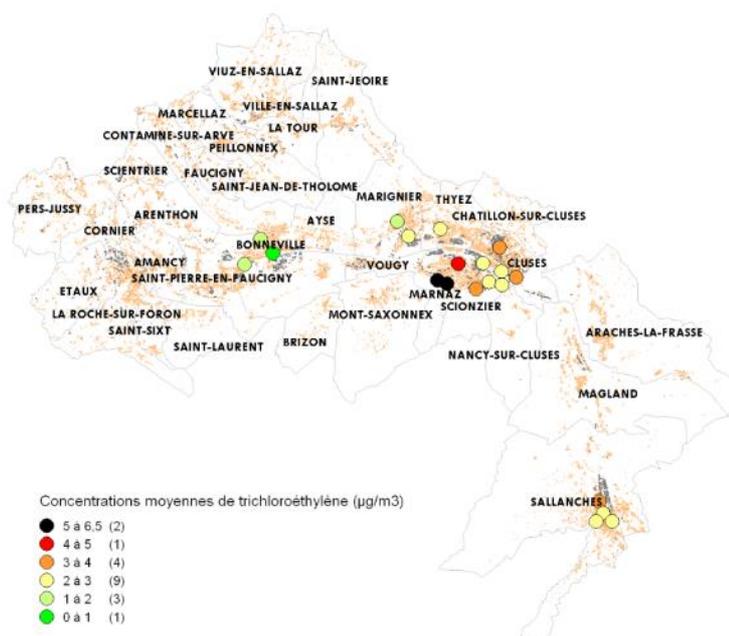


Figure 54 : Etude des COV dans l'Arve – Comparaison des résultats aux valeurs de référence urbaine ou industrielle

- Quasiment tous les sites de mesures montrent des valeurs de tétrachloroéthylène et trichloroéthylène nettement plus élevées que partout ailleurs en Rhône-Alpes (que ce soit en zone urbaine ou en proximité industrielle). Ces composés étant des solvants majeurs de l'industrie du décolletage, l'influence de cette activité est très visible. Pour ces deux composés, la vallée de l'Arve constitue donc un record rhônalpin.
- Un seul site présente des valeurs extrêmes, situé dans le secteur de Scionzier et Cluses.
- Concernant les autres composés suivis, les concentrations sont généralement dans la moyenne de ce qui se mesure en Rhône-Alpes.

Répartitions des concentrations moyennes de trichloroéthylène dans la vallée de l'Arve



Répartitions des concentrations moyennes de tétrachloroéthylène dans la vallée de l'Arve

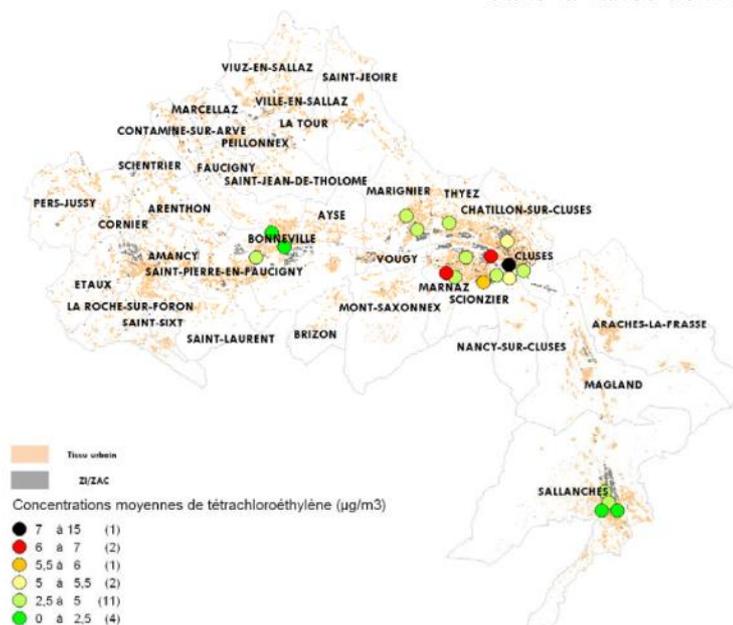


Figure 55 : Etude des COV dans l'Arve – Répartition des concentrations en trichloroéthylène et tétrachloroéthylène

Les pistes de connaissances à approfondir

Des questions restent aujourd'hui en suspens quant à la quantification des émissions issues du processus d'usinage, appelées « brouillard d'huile », qui peuvent être à l'origine d'émissions de particules qui ne sont pas prises en compte dans les inventaires d'émissions.

D'autre part, depuis 2013 la réglementation sur les COV a fortement évolué en limitant l'utilisation de certains solvants, particulièrement dans les entreprises de décolletage. Il paraîtrait donc utile de trouver des financements pour mener à nouveau une campagne de mesures similaire à celle de 2013 afin de voir l'évolution des concentrations.

2.6 Les dioxines et furanes

Le programme annuel de surveillance des dioxines et métaux lourds

Depuis 2006, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes pilote un programme régional de surveillance des dioxines et des métaux lourds, en partenariat avec la DREAL⁸, l'ARS⁹ et plusieurs établissements industriels (14 partenaires en 2016). Dans le cadre de ce suivi, des campagnes de mesures en air ambiant et dans les retombées atmosphériques des dioxines et des métaux lourds sont régulièrement organisées.

Courant 2015, à son initiative, le SITOM des Vallées du Mont-Blanc a intégré le programme, avec 2 sites de mesures pour assurer la surveillance de ces deux familles de composés. Le premier est situé à proximité de l'incinérateur de Passy, le second, à proximité d'un public sensible au Lycée du Mont-Blanc.



Figure 56 : Localisation des stations de mesures gérées par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes destinées à la surveillance des dioxines et des métaux lourds.

Evaluation des niveaux

La surveillance des dioxines sur le SITOM dans vallée de l'Arve est trop récente pour permettre de dégager des tendances. Néanmoins, les niveaux peuvent être comparés à des « valeurs repères », basées sur l'historique des niveaux mesurés dans le cadre de ce programme.

En effet, les dioxines ne sont pas réglementées en France, cependant, sur la base d'un historique représentatif de mesures, des valeurs repères ont été mise en place afin de mettre en évidence l'influence probable d'une source locale de pollution.

Mesure	Valeur repère	Unité	Période de référence
Air ambiant	0,1	pg ITEQ/m ³	Une semaine
	0,04		Une année
Retombées atmosphériques totales	40	pg ITEQ/m ² /jour	Deux mois
	10		Une année

Figure 57 : Valeurs repères concernant les dioxines dans l'air ambiant et les retombées atmosphériques

Mesures en air ambiant

⁸ Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

⁹ Agence Régionale de Santé

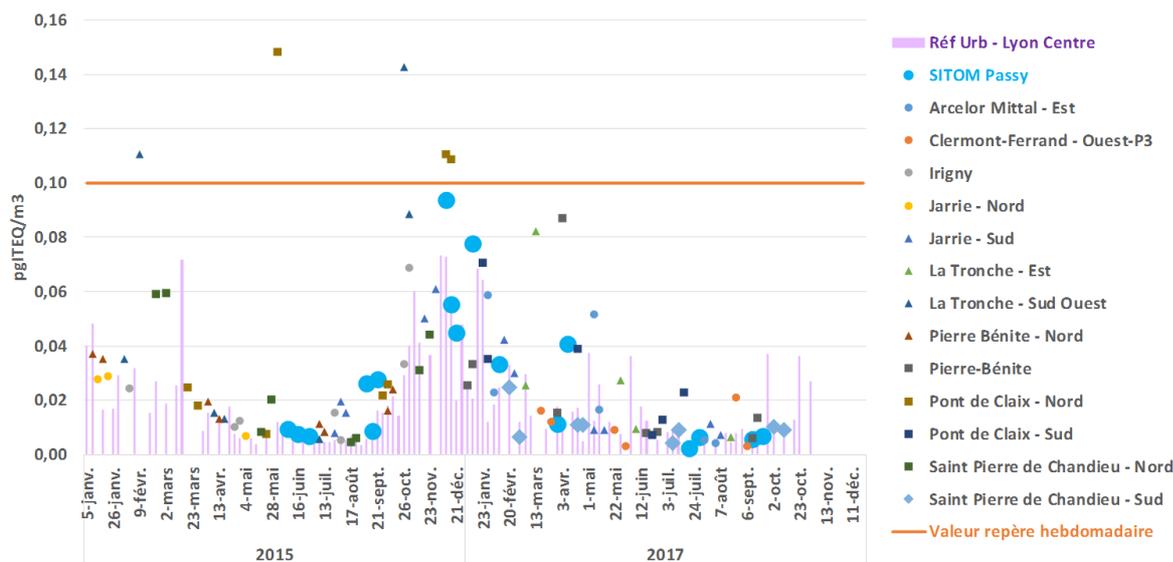


Figure 58 : Historique des concentrations des prélèvements hebdomadaires de dioxines en air ambiant

Depuis le début de la surveillance en 2015, il n'y a pas eu de dépassement de la valeur repère hebdomadaire (0,1 pg iTEQ/m³) sur le site de surveillance du SITOM de Passy. Mis à part 3 prélèvements, les niveaux restent comparables à ceux rencontrés sur le site urbain de référence Lyon Centre.

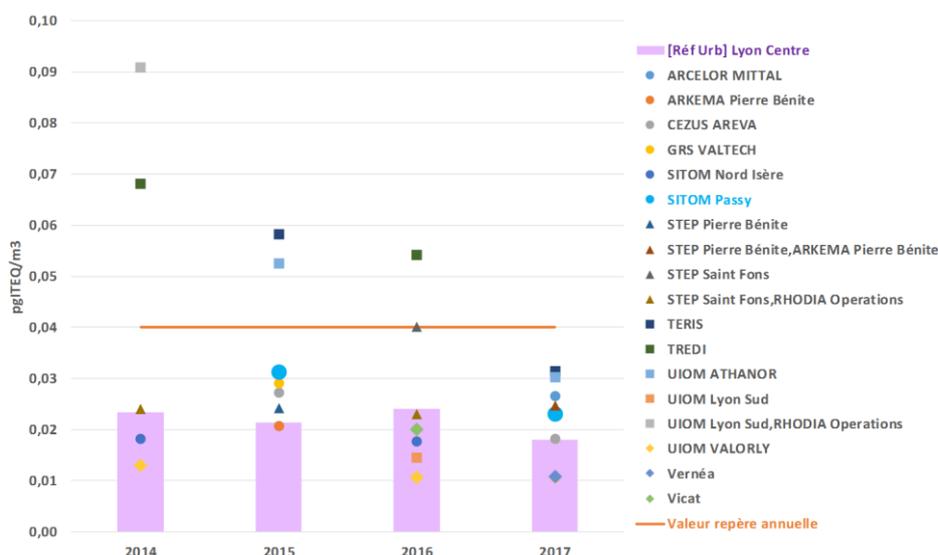


Figure 59 : Historique des concentrations des moyennes annuelles de dioxines en air ambiant

Dans le périmètre du SITOM de Passy, il n'y a pas eu non plus de dépassement la valeur repère annuelle (0,04 pg iTEQ/m³). En 2015 et 2017, la moyenne annuelle est légèrement plus élevée que celle rencontrée sur le site urbain de référence Lyon Centre.

Plus globalement, en considérant l'ensemble des sites investigués depuis 2014, il apparait :

- Une baisse progressive des concentrations de dioxines en air ambiant
- Des valeurs qui se resserrent entre les sites
- Le site SITOM Passy (2015 et 2017) se situe globalement dans la moyenne des autres environnements industriels membres du programme dioxines et métaux lourds
- En 2016, beaucoup de valeurs sont inférieures ou égales à celles du site urbain de référence Lyon Centre ;
- En 2017, aucun site ne dépasse la valeur repère annuelle

Mesures en dans les retombées atmosphériques

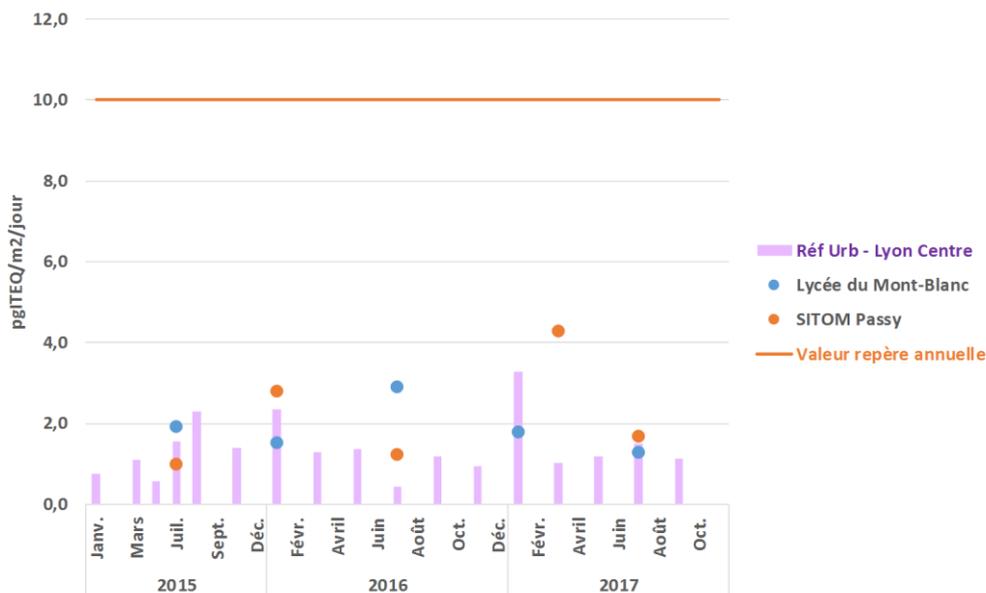


Figure 60 : concentrations de dioxines dans les retombées atmosphériques sur 2 sites dans la vallée de l'Arve.

La valeur repère bimestrielle (40 pg iTEQ/m²/jour) ainsi que la valeur repère annuelle (10 pg iTEQ/m²/jour) n'ont jamais été atteintes. Mis à part les prélèvements de l'été 2016 et de mars 2017, les niveaux observés sur le SITOM de Passy sont relativement comparables à ceux du site de référence urbain Lyon Centre.

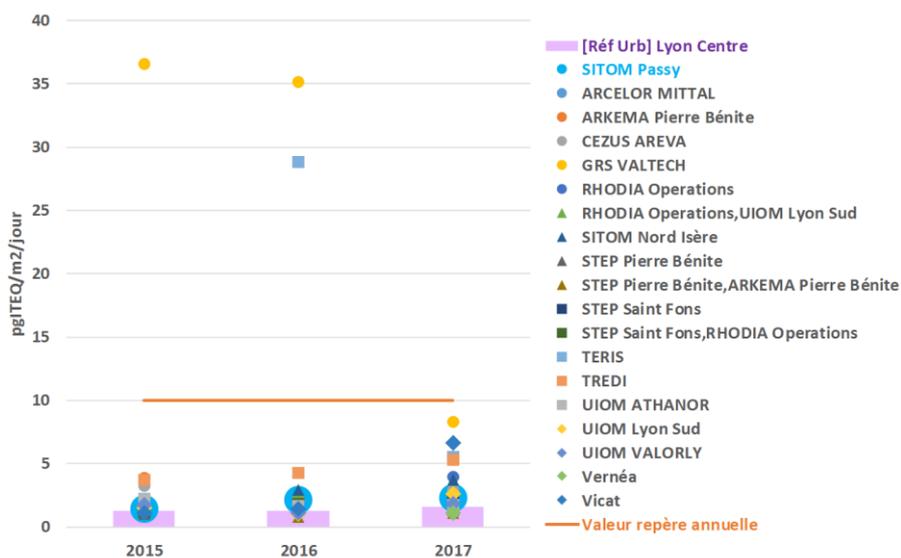


Figure 61 : Historique des concentrations en moyennes annuelles de dioxines dans les retombées atmosphériques

Concernant les moyennes annuelles dans les retombées atmosphériques, le SITOM de Passy se situe parmi les environnements industriels les moins impactés. C'est particulièrement visible pour 2017. Toutefois, comme il a été précisé en introduction de ce chapitre, l'historique de mesures n'est pas encore suffisant pour se déterminer sur des tendances. A noter qu'en 2017, sur l'ensemble des sites suivis au niveau régional, il n'y a pas eu de valeur extrême, c'est-à-dire, largement au-dessus de la valeur repère annuelle comme cela avait pu être observé en 2015 ou en 2016.

Les pistes à approfondir

Compte tenu du contexte topographique, aérologique et météorologique particulièrement complexe de la zone investiguée, des sites supplémentaires de mesures pourraient être d'une aide précieuse pour améliorer la connaissance de la distribution spatiale de cette famille de polluants.

2.7 Les métaux lourds (éléments traces métalliques)

Le programme annuel de surveillance des dioxines et métaux lourds

La description du programme et la localisation des sites de surveillance des métaux lourds sont identiques à celles de la surveillance des dioxines. Elle est détaillée dans le chapitre précédent.

Evaluation des niveaux

Parmi les métaux lourds, seuls 4 composés sont réglementés en air ambiant (As, Cd, Ni et Pb) :

Réglementation française – Air ambiant (Moyenne annuelle : ng/m ³)	
Arsenic	6
Cadmium	5
Nickel	20
Plomb	250

Figure 62 : Valeurs réglementaires pour les métaux lourds en air ambiant en France.

Concernant les retombées atmosphériques, il n'existe pas de valeur réglementaire applicable en France. Toutefois, en prenant comme valeurs celles fixées par la réglementation allemande et suisse, des valeurs repères ont pu être définies :

Valeurs repères – Retombées atmosphériques totales Réglementation allemande et suisse (Moyenne annuelle : ng/m ² /jour)	
Arsenic	4 000
Cadmium	2 000
Mercur	1 000
Nickel	15 000
Plomb	100 000
Thallium	2 000
Zinc	400 000

Figure 63 : Valeurs réglementaires pour les métaux lourds dans les retombées atmosphériques en Allemagne et en Suisse

Mesures en air ambiant

Le total des concentrations des métaux lourds à Passy est du même ordre de grandeur que ce qui est enregistré sur le site urbain de référence Lyon Centre.

Les niveaux sont plus faibles en 2017 par rapport à 2015. Ce constat peut être quasiment généralisé à l'ensemble des environnements industriels suivis.

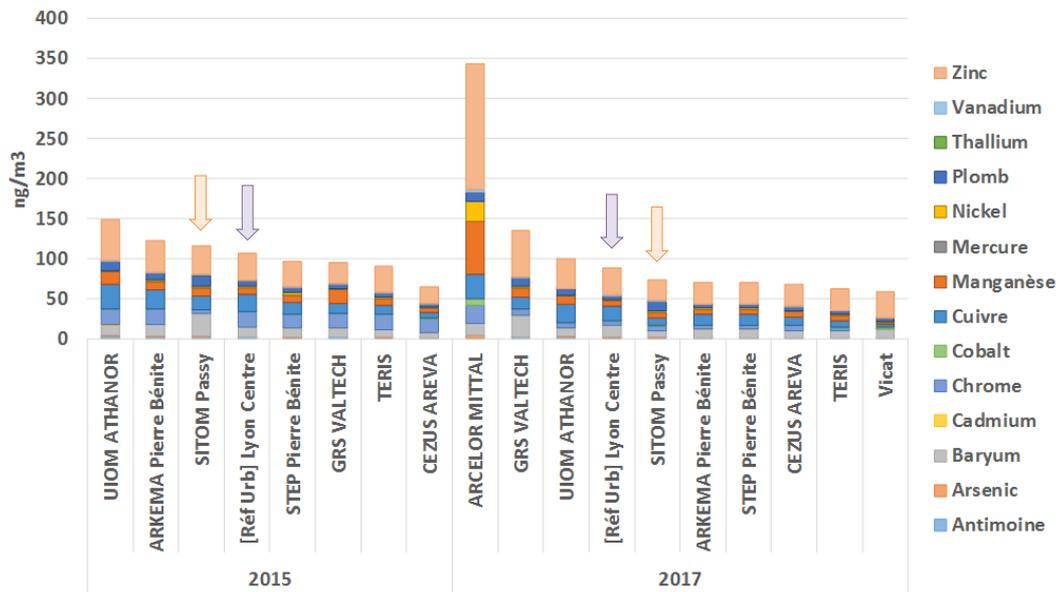


Figure 64 : Historique des concentrations des moyennes annuelles de métaux lourds en air ambiant

Focus sur les métaux lourds réglementés

Les valeurs observées à Passy restent largement au-dessous des valeurs réglementaires. Toutefois, même si la législation est respectée, les concentrations d'arsenic et de plomb sont 2 à près de 3 fois plus élevées qu'en milieu urbain dense (Lyon Centre).

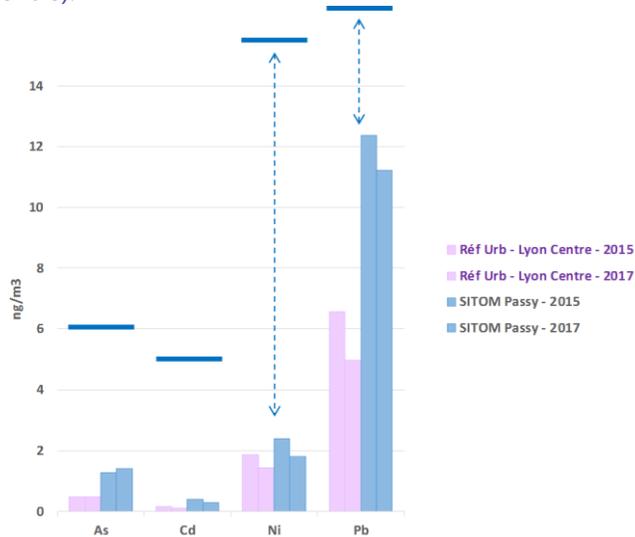


Figure 65 : Concentrations en air ambiant des métaux réglementés

Situation vis-à-vis des valeurs repères

Malgré le prélèvement élevé de mars 2017, il n'y a pas eu de dépassement des valeurs repères depuis le début de la surveillance à Passy. A noter toutefois que ce prélèvement sur le site SITOM Passy est à l'origine en 2017 des niveaux les plus élevés de l'historique des mesures d'arsenic, de cadmium et zinc.

Depuis le début des mesures, Le mercure et le thallium restent au-dessous de la limite de quantification.

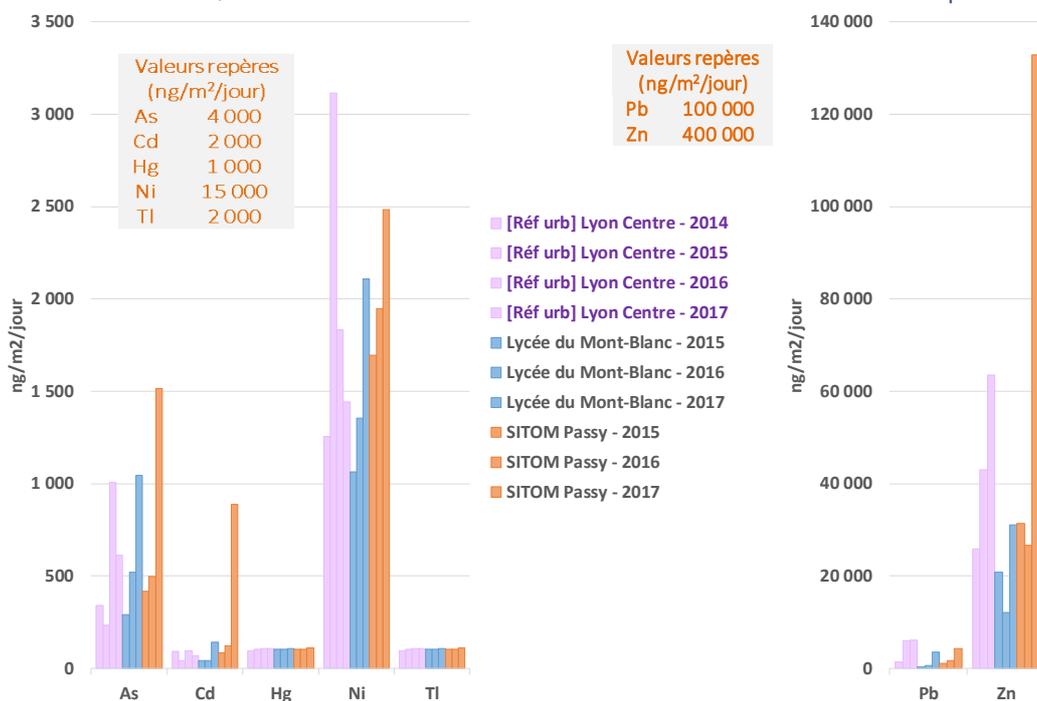


Figure 68 : Concentrations dans les retombées atmosphériques des métaux lourds avec valeur repère associée

Connaissances complémentaires

Plus d'informations sur le Programme de Surveillance des Dioxines et des Métaux Lourds sont disponibles dans le rapport dédié au bilan de la surveillance 2015 et 2016, consultable sur le site Internet d'Atmo-Auvergne-Rhône-Alpes « Surveillance dioxines et métaux lourds 2015-2016 » (voir bibliographie).

Les pistes à approfondir

De la même façon que cela a été souligné pour les dioxines, compte tenu du contexte topographique, aérologique et météorologique particulièrement complexe de la zone investiguée, des sites supplémentaires de mesures pourraient être d'une aide précieuse pour améliorer la connaissance de la distribution spatiale de cette famille de polluants.

2.8 Le dioxyde de soufre (SO₂)

Connaissances générales

A ce jour la réglementation sur ce composé est définie par des valeurs limites journalières et horaires ainsi que par un objectif de qualité (voir ci-dessous).

Polluants	Valeurs limites	Objectifs de qualité	Seuil de recommandation et d'information	Seuil d'alerte	Niveau critique
Dioxyde de soufre (SO₂)	<p>En moyenne journalière : 125 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an.</p> <p>En moyenne horaire : depuis le 01/01/05 : 350 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 24 heures par an.</p>	<p>En moyenne annuelle : 50 µg/m³.</p>	<p>En moyenne horaire : 300 µg/m³.</p>	<p>En moyenne horaire sur 3 heures consécutives : 500 µg/m³.</p>	<p>En moyenne annuelle et hivernale (pour la protection de la végétation) : 20 µg/m³.</p>

Figure 69 : Valeurs limites réglementaires SO₂

L'OMS émet des recommandations qui ont été récemment revue à la baisse. La recommandation est actuellement de 20µg/m³ en moyenne sur 24 heures.

Dans la vallée de l'Arve le dioxyde de soufre (SO₂) a été mesuré de 2000 à 2008 sur la station fixe de Chamonix et de 2008 à 2012 sur la station fixe de Passy suivant les relevés constatés ci-dessous :

station de CHAMONIX	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
moyenne annuelle (µg/m ³)	13	11	12	11	10	11	9	8	6
max jour (µg/m ³)	52	56	50	44	41	44	42	34	29
max horaire (µg/m ³)	142	84	88	94	70	77	69	87	47

station de PASSY	2008	2009	2010	2011	2012
moyenne annuelle (µg/m ³)	5	3	2	2	2
max jour (µg/m ³)	27	14	10	19	12
max horaire (µg/m ³)	118	38	38	48	33

Figure 70 : Evolution des mesures de SO₂ de 2000 à 2012 dans la vallée de l'Arve

Les relevés ne montrent aucun dépassement réglementaire constaté en 13 ans de mesures. L'objectif de qualité est très largement respecté toutes les années. La recommandation OMS n'a pas été dépassée depuis 2008.

Une campagne de mesures a récemment été menée sur Passy du 21/12/2017 au 16/1/2018 (graphiques ci-après). Les niveaux relevés sont en dessous des valeurs limites journalières et horaires et sont en dessous de la recommandation OMS.

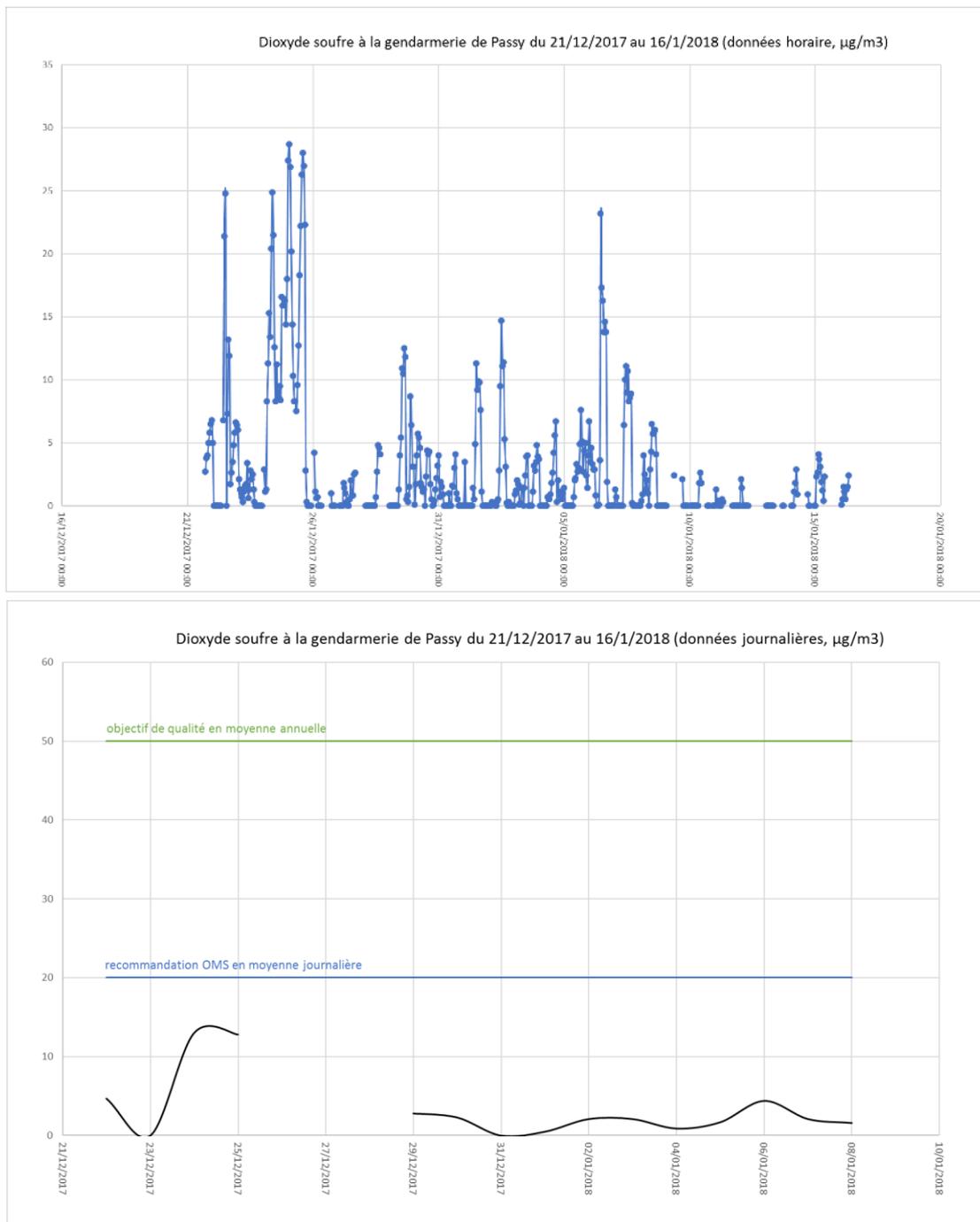


Figure 71 : Mesures horaires et journalières de SO_2 réalisées à Passy du 21/12/2017 au 16/01/2018

Les piste de connaissances à approfondir

Nous avons vu dans le chapitre sur les HAP (connaissances complémentaires) que des mesures réalisées par des équipes de recherche dans le cadre du programme CATOSI ont mis en évidence la présence de composés HAP soufrés sur la zone de Chedde/Passy, en lien avec l'activité de « l'industrie du carbone ».

D'autre part, il existe des signalements par certains riverains de nuisances odorantes sur cette même zone. Même si les niveaux de SO_2 ne posent pas de problème réglementaire a priori, il pourrait donc être intéressant d'investiguer d'autres traceurs des activités industrielles, notamment de composés soufrés qui pourraient être à l'origine de ces odeurs (H_2S , mercaptans, ...). Il faut noter tout de même que la problématique des odeurs reste un sujet complexe qui nécessite d'évaluer à la fois le ressenti, par des méthodes les plus objectives possibles d'analyse sensorielle, et les concentrations de molécules par des analyses chimiques. D'autre part, ce type d'étude nécessite également des moyens financiers supplémentaires à la surveillance réglementaire.

2.9 L'ozone (O₃)

Répartition spatiale et exposition des populations

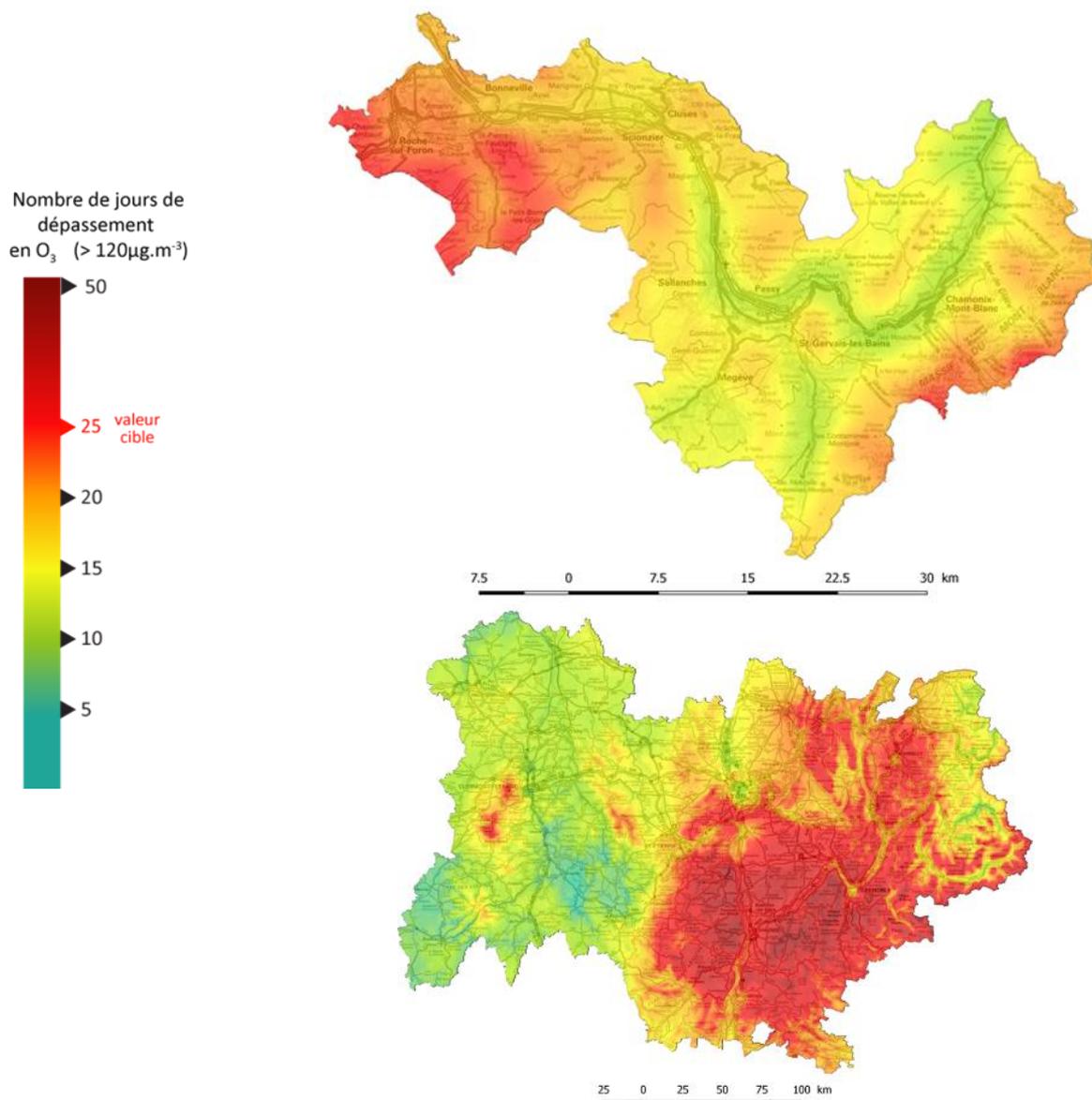


Figure 72 : Cartographie du nombre de jour de dépassement en O₃ en 2016 dans la Vallée de l'Arve (en haut) et sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (en bas)

Une faible exposition est calculée sur la vallée de l'Arve avec une estimation d'environ 1 000 habitants (aucune exposition en 2015). En effet les zones les plus exposées sont principalement les zones d'altitude où la population est faible.

Répartition spatiale et exposition de la végétation

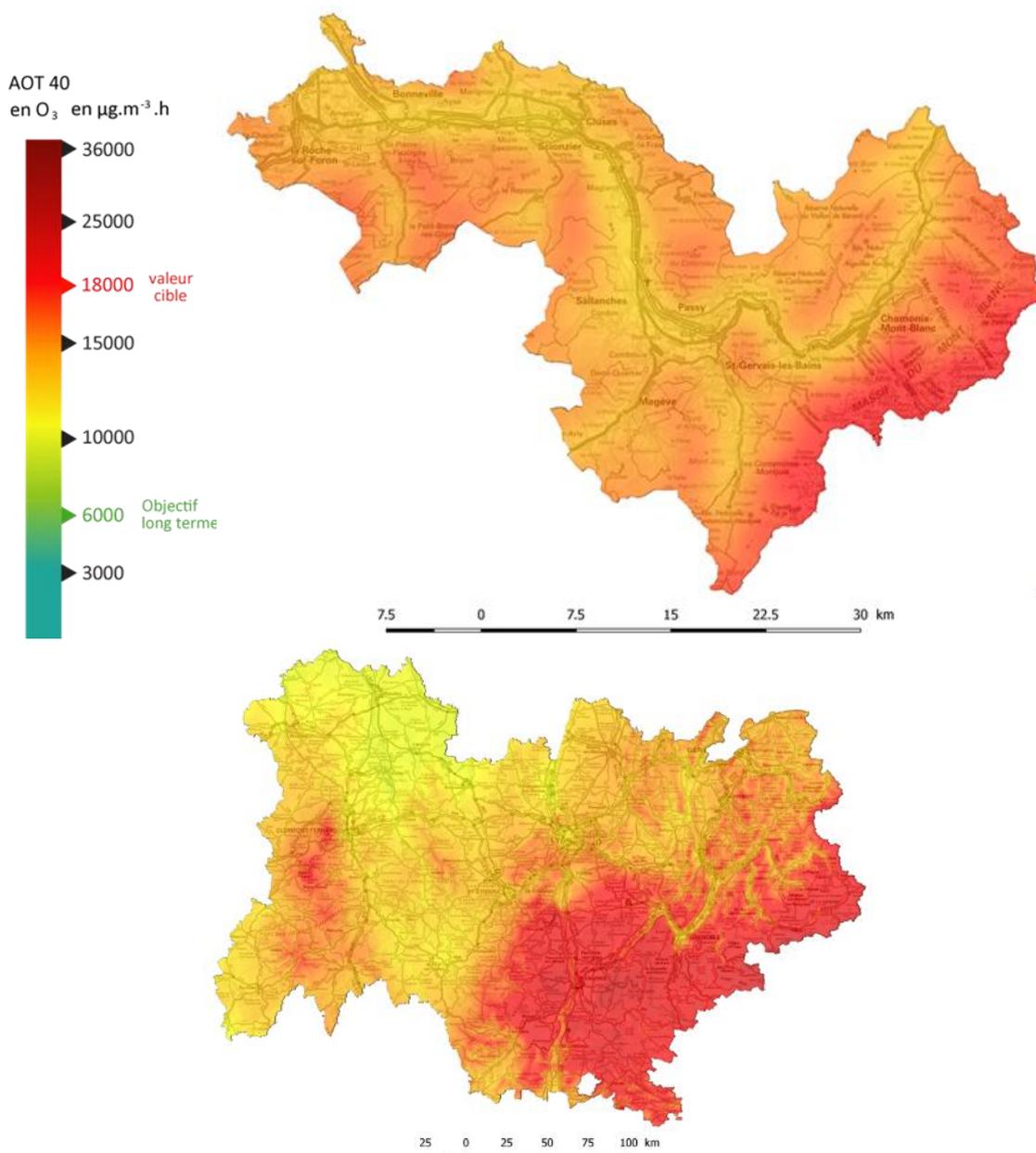


Figure 73 : Cartographie de la valeur réglementaire pour l'exposition de la végétation (AOT40) en O₃ en 2016 dans la Vallée de l'Arve (en haut) et sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (en bas)

Sur une exposition départementale de 52 km², la majorité, soit 50 km², concerne la vallée de l'Arve, et seulement 2 km² autour de l'agglomération d'Annecy. Les zones d'altitude sont les plus touchées.

Pistes de solution

L'ozone est un composé particulier car il n'est pas émis directement par une source. Il est lié aux émissions d'oxydes d'azote et de composés organiques volatils qui vont se transformer sous l'action de la chaleur et du rayonnement solaire. C'est un composé 'secondaire'. Ainsi pour réduire les concentrations il est nécessaire de diminuer à la fois les émissions de NO_x et de COV. Mais une action à l'échelle locale ne suffit pas car ce composé peut parcourir de grandes distances : sont donc des actions à l'échelle locale, régionale et nationale qui permettront de réduire les concentrations de ce composé.

3. Conclusions

La vallée de l'Arve constitue depuis plusieurs années un territoire sensible vis-à-vis de la réglementation pour les particules en suspension, le Benzo(a)Pyrène et le dioxyde d'azote. Ce bilan montre toutefois qu'entre 2011 (année précédant la mise en place du PPA) et 2017, une nette amélioration se dessine pour les PM10 et le BaP. Globalement, les niveaux relevés sur les stations fixes baissent d'année en année et suivent la tendance régionale d'amélioration de la qualité de l'air. Le dioxyde d'azote en proximité trafic reste en revanche élevé et globalement stable.

A l'issue de 5 années de mise en œuvre du PPA dans la vallée de l'Arve, plusieurs problèmes subsistent :

Pour les particules PM10 : les dépassements journaliers restent nombreux en hiver, lorsque les conditions météorologiques sont favorables à l'accumulation des polluants. Ainsi, jusqu'en 2016, chaque année la valeur limite de 35 dépassements de la valeur journalière de 50 µg/m³ a été franchie. Le secteur Sallanches-Passy est le plus impacté par cette problématique.

Pour le Benzo(a)Pyrène : après une forte baisse jusqu'en 2012, les niveaux semblent stagner sur la station fixe de Passy. La valeur cible (1 ng/m³ en moyenne annuelle arrondie à l'entier) n'était pas respectée depuis les premiers relevés en 2008 jusqu'en 2016. En 2017 la moyenne annuelle était de 1,4 ng/m³.

Concernant le dioxyde d'azote : les zones à risque sont aujourd'hui réduites et se limitent aux abords de la Route Blanche. La station de proximité automobile des Bossons enregistre chaque année des dépassements de la valeur limite annuelle et la valeur limite horaire a également été dépassée en 2015 et 2016.

Ces différents éléments plaident pour un maintien, voire un renforcement de la vigilance et des actions entreprises dans l'optique d'amener tout d'abord durablement les concentrations de polluants sous les seuils réglementaires actuels de qualité de l'air, puis par la suite de viser les seuils recommandés par l'OMS.

Au-delà de l'aspect strictement réglementaire, ce bilan montre aussi que l'amélioration des connaissances sur les particules, leurs origines, leur transformation et leur impact sanitaire, est une préoccupation majeure et un axe important de travail. Plusieurs projets de recherche ont été menés ou sont en cours dans l'Arve, en partenariat avec des laboratoires universitaires (LGGE, LCME, LEGI, INSERM...) et Météo France, afin de mieux connaître les sources, leurs contributions aux taux de pollution et la dynamique des écoulements d'air.

Ces études permettent déjà de mieux comprendre les phénomènes et les interactions à l'origine des épisodes de pollution, et de disposer d'indicateurs ou d'outils pour pouvoir évaluer l'impact des actions menées pour réduire les sources d'émissions. Ainsi, quelques années, le réseau de mesures continues a été complété avec des analyseurs capables d'estimer la part de contribution de la combustion de biomasse (lié principalement au chauffage au bois) et celle du fuel fossile (lié principalement au trafic ou industries) dans les concentrations de particules. Ces travaux nécessitent des financements importants et demandent également plusieurs années pour réaliser les mesures, analyser et interpréter les résultats. Néanmoins, les perspectives sont nombreuses, avec plusieurs améliorations possibles.

Pour ATMO Auvergne-Rhône-Alpes, il faut également du temps pour assimiler les connaissances et pouvoir les rendre accessibles à un large public, que ce soit au niveau des populations ou des différents acteurs du territoire. A court ou moyen terme, il serait important de pouvoir intégrer ces informations spécifiques dans les chaînes de modélisation pour améliorer les outils de prévision de la qualité de l'air.

Enfin, ce bilan fait également état des connaissances sur les niveaux d'autres polluants, réglementés ou non :

Pour les HAP : des travaux de recherche menés en 2013-2014 ont permis d'étudier la contribution des sources de HAP sur le secteur de Chedde/Passy, en distinguant la combustion de biomasse (chauffage au bois), trafic et la part industrielle.

En niveaux de fond :

Les résultats montrent bien l'importance de la part « industrie du carbone » vis-à-vis des HAP, avec une contribution moyenne d'environ 45%, et une contribution journalière pouvant atteindre 90% des concentrations observées dans la vallée de l'Arve. Ils confirment également l'impact non négligeable du chauffage au bois (2^{ème} source d'émissions) sur les concentrations de HAP avec des contributions moyennes d'environ 40%.

En proximité du trafic :

La source véhiculaire est majoritaire (53%), alors qu'elle ne contribue que faiblement aux concentrations en PM10 (5%). L'influence de la part « industrie du carbone » n'est pas négligeable non plus (39% en moyenne). Pour la combustion de la biomasse (chauffage au bois), malgré sa faible contribution moyenne (8%), elle peut atteindre parfois sur une journée jusqu'à 97% de contribution en HAP.

Ces résultats et méthodes sont l'état de la science à ce jour et restent donc à recouper, affiner. A l'avenir, cette approche pourrait être appliquée pour mieux connaître la contribution des sources du benzo(a)pyrène. Par ailleurs, ces résultats continuent d'être exploités dans le cadre du projet DECOMBIO, qui porte sur l'évaluation des politiques de modernisation du parc d'appareils de chauffage au bois dans la vallée de l'Arve.

Pour les COV : Une étude réalisée en 2012-2013 a montré que les composés chlorés sont effectivement présents dans la vallée, en lien avec les activités de l'industrie du décolletage. Le tétrachloroéthylène et le trichloroéthylène sont les deux composés qui apparaissent à des concentrations significativement élevées, au-dessus des niveaux de référence urbains et industriels de la région. Il sera proposé de réaliser une étude complémentaire pour suivre l'évolution des niveaux.

Pour les dioxines et les métaux lourds : ces composés font l'objet d'un suivi pluriannuel dans le cadre du programme régional de surveillance des dioxines et des métaux lourds, piloté par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes depuis 2006 en partenariat avec la DREAL, l'ARS et plusieurs établissements industriels. Chaque année, des campagnes de mesures des dioxines et des métaux lourds sont réalisées en air ambiant et dans les retombées atmosphériques. Courant 2015, le SITOM des Vallées du Mont-Blanc a intégré le programme à son initiative, avec 2 sites de mesures pour assurer la surveillance de ces deux familles de composés (un à proximité de l'incinérateur de Passy, et un à proximité d'un public sensible au Lycée du Mont-Blanc).

En air ambiant :

- dioxines/furanes : dans le périmètre du SITOM de Passy, les niveaux ne dépassent pas les « valeurs repères » du programme. En 2015 et 2017, les niveaux sont du même ordre de grandeur ou légèrement plus élevés que ceux rencontrés sur le site urbain de référence Lyon Centre.
- métaux lourds : les niveaux restent largement au-dessous des valeurs réglementaires. Toutefois, les concentrations d'arsenic et de plomb sont 2 à 3 fois plus élevées qu'en milieu urbain dense.

Dans les retombées atmosphériques :

- dioxines/furanes : mis à part 2 prélèvements plus élevés (en été 2016 et mars 2017), les niveaux observés sur le SITOM de Passy sont relativement comparables à ceux du site de référence urbain Lyon Centre. En moyenne annuelle, le SITOM de Passy se situe parmi les environnements industriels les moins impactés. Toutefois, l'historique de mesures n'est pas encore suffisant pour se déterminer sur des tendances.
- métaux lourds : sur le secteur de Passy, il est difficile de dégager une tendance car il y a une variabilité importante des valeurs, tant en termes de concentrations qu'en termes de répartition entre métaux. Les métaux majoritairement rencontrés sont : le baryum, le cuivre, le manganèse et le zinc. En 2015 et 2016, le SITOM de Passy se situe dans les environnements les moins impactés. En 2017, en raison d'un prélèvement plus élevé en mars, il se situe parmi les trois environnements les plus impactés.

Pour le SO₂ : La surveillance strictement réglementaire du SO₂ ne s'impose pas dans la vallée de l'Arve en raison des faibles valeurs enregistrées jusqu'en 2012. Néanmoins, il pourrait être intéressant d'investiguer d'autres traceurs d'activités industrielles, notamment des composés soufrés (H₂S, mercaptans, ...) qui pourraient être à l'origine de signalements d'odeurs. Il faut noter tout de même que la problématique des odeurs reste un sujet complexe qui nécessite d'évaluer à la fois le ressenti, par des méthodes les plus objectives possibles d'analyse sensorielle, et les concentrations de molécules par des analyses chimiques. D'autre part, ce type d'étude nécessite également des moyens financiers supplémentaires à la surveillance réglementaire.

Pour l'ozone : L'ozone reste problématique, mais la vallée de l'Arve est relativement épargnée avec peu de population impactée par rapport au reste de la région. Pour réduire les concentrations il est nécessaire de diminuer à la fois les émissions de NO_x et de COV, mais en menant des actions à la fois à l'échelle locale, régionale et nationale.

Bibliographie

ETUDES RECENTES ATMO AUVERGNE-RHONE-ALPES

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (2017) Evaluation du PPA de la vallée de l'Arve

Disponible sur le site Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (2017) Méthode d'élaboration de l'inventaire des émissions atmosphériques en Auvergne-Rhône-Alpes

https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/ra/files/atoms/files/methodeinventaireregional_v2017.pdf

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (2017) Bilan de la qualité de l'air 2016 - Haute Savoie / Agglomérations d'Annecy et d'Annemasse / Bassin Genevois et Vallée de l'Arve.

<http://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/publications/diagnostic-annuel-bilan-de-la-qualite-de-lair-2016-haute-savoie>

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (2017) Programme de surveillance des Dioxines, Furanes & Métaux lourds - Inventaire des émissions atmosphériques et synthèse des mesures dans l'air ambiant et dans les retombées – 2015 et 2016.

<http://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/publications/programme-de-surveillance-des-dioxines-furanes-metaux-lourds-en-2015-et-2016>

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (2017) Diagnostic et carte des enjeux de qualité de l'air en Haute Savoie

<http://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/publications/diagnostic-et-carte-des-enjeux-de-qualite-de-lair-en-haute-savoie>

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (2017) Dossier de presse - Qualité de l'air : comment l'État agit pour réduire la pollution ?

<http://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/publications/dossier-presse-de-la-prefecture-de-la-region-auvergne-rhone-alpes-qualite-de-lair>

Air Rhône-Alpes - (2015) - Part'Aera

<http://www.partaera.eu/fr/progetto.php>

Air Rhône-Alpes - (2014) - PPA de la vallée de l'Arve – Impact du salage sur les concentrations de PM10

https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/ra/files/publications_import/files/2013_ppa_passy_salage.pdf

Air Rhône-Alpes - (2014) Etude de la qualité de l'air autour des accès de stations de ski.

https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/ra/files/publications_import/files/etude_qualite_air_autour_des_stations_de_ski_finale.pdf

Air Rhône-Alpes (2013) Etude de la stratification de l'atmosphère sur le territoire du PPA de l'Arve.

https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/ra/files/publications_import/files/etude_stratification_atmosphere_ppa_arve_sillon_alpin.pdf

Air Rhône-Alpes (2013) Calage des modèles d'aérodynamique sur le sillon alpin.

https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/ra/files/publications_import/files/calage_aerologie.pdf

Air Rhône-Alpes - (2012) - Surveillance des COV précurseurs de l'ozone dans la vallée de l'Arve et à Oyonnax.

https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/ra/files/publications_import/files/2013_surveillance_cov_arve_oyonnax_rapport_cov.pdf

AUTRES ETUDES ET TRAVAUX DE RECHERCHE

ADEME (2013) - Enquête sur les Pratiques et utilisation du chauffage au bois dans la Vallée de l'Arve. Etude réalisée par l'Institut BVA - Marché ADEME n° 1262c0002

Jaffrezo JL, Besombes JL, Marchand N, Mocnik G, Brulfert G, Chevrier F, Bertrand A, Jezek I., Allard J, and Grillet C - (2015) - DECOMBIO (DEconvolution de la contribution de la COMbustion de la BIOmasse aux PM10 dans la vallée de l'Arve) – Rapport intermédiaire. ADEME. 70pp
<http://www.ige-grenoble.fr/recherche/equipes/chimie-atmospherique-chianti/projets/article/decombio-pollution-dans-la-vallee>

Paci A, Staquet C, et al. – (2015) - La campagne Passy-2015 : dynamique atmosphérique et qualité de l'air dans la vallée de l'Arve, Pollution atmosphérique [En ligne], N°231 - 232, mis à jour le : 09/02/2017
<https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.5903>

Christine Piot. (2011) Polluants atmosphériques organiques particulaires en Rhône-Alpes : caractérisation chimique et sources d'émissions, Thèse Université de Grenoble.
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00661284/document>

Benjamin Golly. (2014) Etude des sources et de la dynamique atmosphérique de polluants organiques particulaires en vallées alpines : apport de nouveaux traceurs organiques aux modèles récepteurs. Thèse Université Grenoble Alpes. (dans le cadre du Programme CATOSI)
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01089232/document>

Florie Chevrier. (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.
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01527559>

Julie Allard. Qualité de l'air en Vallée de l'Arve : météorologie locale et mesures de réduction des émissions liées au chauffage au bois ». Thèse en cours,, financement ADEME. Fin prévue en octobre 2018.

Revue Atmospheric Chemistry and Physics, article 16, 13753–13772, 2016 « 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 ».
<http://www.atmos-chem-phys.net/16/13753/2016/>

Revue Science of the Total Environment, 538, 634-643, 2015 « Large chemical characterisation of PM10 emitted from graphite material production: Application in source apportionment »
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715304587>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES PLUS ANCIENNES

PPA1 de la vallée de l'Arve : synthèse des études antérieures à 2012 p9 à 35.
http://www.haute-savoie.gouv.fr/content/download/15754/92617/file/ppa_20120305.pdf

Illustrations

Figure 1 : Répartition des activités humaines dans la vallée de l'Arve.....	5
Figure 2 : Contribution des émissions par secteur d'activité en Haute-Savoie.....	7
Figure 3 : Contribution des émissions par secteur d'activité dans la vallée de l'Arve	7
Figure 4 : Evolution des émissions par polluant depuis 2000 dans la vallée de l'Arve	8
Figure 5 : Emissions 2015 par habitant.....	9
Figure 6 : Localisation des sites de mesures dans la vallée de l'Arve.....	11
Figure 7 : Historique des mesures sur chaque site.....	11
Figure 8 : Cartographie des moyenne annuelles en NO ₂ en 2016 dans la Vallée de l'Arve (en haut) et sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (en bas)	12
Figure 9 : Populations exposées à un dépassement de la VL en NO ₂ - 2013 à 2016	13
Figure 10 : Historique des moyennes annuelles en NO ₂ en fond urbain en Haute-Savoie	13
Figure 11 : Historique des moyennes annuelles en NO ₂ en proximité automobile en Haute-Savoie ..	13
Figure 12 : Profils mensuels en NO ₂ en proximité automobile (Bossons) et en fond périurbain (Passy)	14
Figure 13 : Profils moyens journaliers en NO ₂ en proximité automobile (Bossons) et en fond périurbain (Passy)	14
Figure 14 : Profils moyens hebdomadaire en NO ₂ et PM10 en proximité automobile (Bossons).....	15
Figure 15 : Historique du nombre d'heures par an > 200 µg/m ³ pour le NO ₂ en proximité trafic.....	15
Figure 16 : Evolution du parc roulant local de poids lourds passant au tunnel du Mont Blanc par normes Euro	16
Figure 17 : Répartition des émissions routières du scénario tendanciel distinguant les poids lourds des véhicules légers	16
Figure 18 : Concentrations moyennes de NO ₂ relevées durant les campagnes	17
Figure 19 : Cartographie des moyennes annuelles en PM10 en 2016, dans la Vallée de l'Arve (en haut) et sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (en bas).....	18
Figure 20 : Historique des moyennes annuelles en PM10 en proximité trafic en Haute-Savoie	19
Figure 21 : Historique des moyennes annuelles en PM10 en fond urbain en Haute-Savoie.....	19
Figure 22 : Cartographie des moyennes annuelles en PM2.5 en 2016 dans la Vallée de l'Arve (en haut) et sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (en bas).....	20
Figure 23 : Historique des moyennes annuelles en PM2.5 en Haute-Savoie.....	21
Figure 24 : Cartographie du nombre de jours de dépassement du seuil de la valeur limite journalière en PM10 en 2016 dans la Vallée de l'Arve (en haut) et sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (en bas)	22
Figure 25 : Populations exposées à un dépassement de la VL journalière en PM10 - 2012 à 2016.....	22
Figure 26 : Historique des dépassements de la valeur limite journalière en PM10 sur la région et en Haute-Savoie	23
Figure 27 : Historique des dépassements du seuil de la VL journalière en PM10 en proximité automobile.....	24
Figure 28 : Historique des dépassements du seuil de la VL journalière en PM10 en fond urbain	24

Figure 29 : Moyennes journalières en PM10 sur différents sites de l'Arve durant l'hiver 2016-2017..	25
Figure 30 : Evolutions comparées des concentrations de PM10 et des différences de températures entre un point 50 m au-dessus du sol et différentes altitudes, mesurées à Passy en février 2015 (Programme LEFE).....	26
Figure 31 : Mise en parallèle des concentrations de PM10 sur Chamonix avec le gradient thermique	26
Figure 32 : Exemple de visualisation du LIDAR vent de Passy	27
Figure 33 : Exemple de vue de la webcam le 23/1/2017 9h45 (160 µg/m3 de PM10 à Passy)	27
Figure 34 : Profils annuels des concentrations de PM10 sur le site de Passy	28
Figure 35 : Estimation de la composition des particules PM10 lors de l'épisode du 31/01/2018 (à gauche)	29
Figure 36 : Moyennes annuelles des contributions des sources pour les 4 sites de Part'AERA sur l'année 2013-2014, pour les sources identifiées via la méthodologie de détermination des sources par PMF 3.0	30
Figure 37 : Contributions des sources PM10 déterminées dans le cadre de Part'AERA lors d'un épisode hivernal	30
Figure 38 : Contributions des sources PM10 déterminées dans le cadre de Part'AERA lors d'un épisode printanier	31
Figure 39 : Localisation des sites investigués dans le cadre du programme CATOSI : (a) dans la vallée de la Tarentaise et (b) dans la vallée de l'Arve.....	31
Figure 40 : Variations temporelles des contributions des sources de PM10 calculées par la méthodologie CMB dans la vallée de l'Arve en hiver 2013 : (a) sur un site de fond - Passy, (b) sur un site trafic - Le Fayet	33
Figure 41 : Moyennes hivernales des contributions des sources pour les 3 sites de DECOMBIO sur l'année 2013-2014, pour les sources identifiées via la méthodologie PMF 5.2	34
Figure 42 : Evolution des concentrations (horaires) des concentrations de suies issues de la combustion de la biomasse (BCwb, en vert) et de la combustion de fuels fossiles (BCff, en noir) pour les 3 sites de DECOMBIO	35
Figure 43 : Concentrations journalières de PM10 et contribution du sel - Passy	36
Figure 44 : Concentrations journalières de PM10 et contribution du sel - Le Fayet.....	36
Figure 45 : Répartition du parc de chauffage au bois avant et après renouvellement.....	37
Figure 46 : Gain en émissions de polluants pour les appareils renouvelés par le fond bois	37
Figure 47 : Part des gains communaux en émissions de PM10 avant / après renouvellement du fond air bois	37
Figure 48 : Nombre de dépassements de la VL journalière en PM10 relevés durant les campagnes ...	38
Figure 49 : Historique des niveaux en moyennes annuelles pour le B(a)P	39
Figure 50 : Cartographie des moyennes annuelles en B(a)P en 2016 dans la Vallée de l'Arve (en haut) et sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (en bas).....	40
Figure 51 : Contributions des sources de HAP dans la vallée de l'Arve en hiver 2013 : (a) Passy (fond) ; (b) Le Fayet (trafic).....	41
Figure 52 : Etude des COV dans la vallée de l'Arve (2012-2013) – localisation des 21 sites de mesures	44

Figure 53 : Etude des COV dans l'Arve – Evolution temporelle des concentrations sur le site de référence (Cluses).....	44
Figure 54 : Etude des COV dans l'Arve – Comparaison des résultats aux valeurs de référence urbaine ou industrielle.....	45
Figure 55 : Etude des COV dans l'Arve – Répartition des concentrations en trichloroéthylène et tétrachloroéthylène	46
Figure 56 : Localisation des stations de mesures gérées par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes destinées à la surveillance des dioxines et des métaux lourds.....	47
Figure 57 : Valeurs repères concernant les dioxines dans l'air ambiant et les retombées atmosphériques.....	47
Figure 58 : Historique des concentrations des prélèvements hebdomadaires de dioxines en air ambiant.....	48
Figure 59 : Historique des concentrations des moyennes annuelles de dioxines en air ambiant	48
Figure 60 : concentrations de dioxines dans les retombées atmosphériques sur 2 sites dans la vallée de l'Arve.	49
Figure 61 : Historique des concentrations en moyennes annuelles de dioxines dans les retombées atmosphériques.....	49
Figure 62 : Valeurs réglementaires pour les métaux lourds en air ambiant en France.....	50
Figure 63 : Valeurs réglementaires pour les métaux lourds dans les retombées atmosphériques en Allemagne et en Suisse	50
Figure 64 : Historique des concentrations des moyennes annuelles de métaux lourds en air ambiant	51
Figure 65 : Concentrations en air ambiant des métaux réglementés	51
Figure 66 : Historique des concentrations des prélèvements sur 2 mois de métaux lourds dans les retombées atmosphériques.....	52
Figure 67 : Historique des concentrations des prélèvements de métaux lourds dans les retombées atmosphériques.....	52
Figure 68 : Concentrations dans les retombées atmosphériques des métaux lourds avec valeur repère associée.....	53
Figure 69 : Valeurs limites réglementaires SO₂	54
Figure 70 : Evolution des mesures de SO₂ de 2000 à 2012 dans la vallée de l'Arve	54
Figure 71 : Mesures horaires et journalières de SO₂ réalisées à Passy du 21/12/2017 au 16/01/2018	55
Figure 72 : Cartographie du nombre de jour de dépassement en O₃ en 2016 dans la Vallée de l'Arve (en haut) et sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (en bas)	56
Figure 73 : Cartographie de la valeur réglementaire pour l'exposition de la végétation (AOT40) en O₃ en 2016 dans la Vallée de l'Arve (en haut) et sur la région Auvergne-Rhône-Alpes (en bas)	57

Annexes

Influence de la météo

La qualité de l'air dépend de l'émission de substances polluantes par différentes sources comme les industries, les transports, les sources tertiaires et domestiques mais dépend également des conditions météorologiques. En effet, la climatologie (vitesse et direction du vent, température, rayonnement, pression atmosphérique...) influence le transport, la transformation et la dispersion des polluants.

- **Le vent**

Une fois émis par une source dans l'atmosphère, un polluant va se disperser dans l'air. Le vent est un élément fondamental tant par sa direction pour orienter les panaches de polluants, que par sa vitesse pour les diluer plus ou moins dès l'origine. A la surface de la Terre, les différents obstacles limitent la vitesse du vent et donc la dispersion des polluants. La vitesse du vent augmente généralement avec l'altitude, ainsi plus les polluants s'élèvent et plus leur dispersion est facilitée. Plus la vitesse du vent est faible et plus les polluants risquent de s'accumuler. Un vent fort et de direction clairement définie peut diriger une panache vers une zone spécifique, et y concentrer ainsi la pollution.

- **La pluie**

La pluie est généralement bénéfique pour la qualité de l'air car les précipitations « lessivent » l'atmosphère en diminuant les concentrations dans l'atmosphère. Le principe général repose sur le fait que l'eau qui tombe va interagir avec les polluants présents lors de sa chute et ainsi les transformer ou les déposer au sol.

Il existe cependant des effets pervers dans ce phénomène. Par exemple pour les oxydes d'azote, le lessivage est un phénomène efficace pour réduire ces concentrations mais ces derniers par leur interaction chimique avec l'eau participent à la formation des pluies acides. Les particules ainsi « lessivées » se retrouvent dans le sol et participent à la pollution des sols et les eaux.

Quant à l'ozone, même s'il est peu soluble dans l'eau, le lessivage va tout de même contribuer à la baisse des concentrations en rabattant au niveau du sol, les polluants « précurseurs » participant à la production de l'ozone présents dans l'atmosphère (notamment : oxydes d'azote et composés organiques volatils).

- **La température**

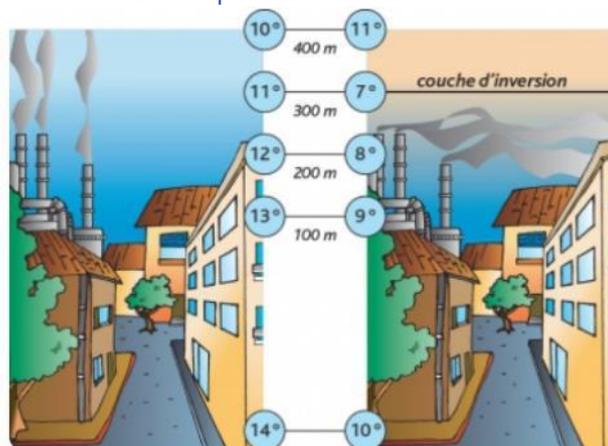
Les températures, trop élevées ou trop basses sont défavorables à la qualité de l'air. La température agit à la fois sur la chimie et les émissions des polluants. Ainsi certains composés voient leur volatilité augmenter avec la température, c'est le cas des composés organiques volatils. Le froid augmente les rejets automobiles du fait d'une moins bonne combustion. La chaleur estivale et l'ensoleillement favorisent les processus photochimiques, comme la formation d'ozone.

- **L'inversion de température**

La température joue un rôle important dans la dispersion verticale des polluants de l'air.

En effet, en condition atmosphérique instable, la température décroît régulièrement avec l'altitude (schéma à gauche). Comme les polluants sont émis très souvent à des températures plus hautes que celle de l'air ambiant, ils vont s'élever par convection thermique : l'air chaud se dilate et devient plus léger que l'air froid. La dispersion des polluants est donc facilitée en cas d'atmosphère instable.

Dans une atmosphère stable, un phénomène appelé inversion de température peut se produire : la température de l'air augmente avec l'altitude (schéma à droite).



Au cours de la nuit, la terre se refroidit plus vite que l'atmosphère. De ce fait, les couches d'air au niveau du sol deviennent plus froides que les couches immédiatement supérieures. La situation devient alors favorable à l'accumulation de polluants qui se retrouvent comme bloqués sous un couvercle.

Ces inversions se produisent généralement lors des nuits dégagées et sans vent. Elles peuvent persister plusieurs jours, notamment en hiver où l'ensoleillement est faible. Dans les régions montagneuses, le phénomène est accentué par les brises de montagnes qui amènent l'air froid des sommets vers la vallée. Les pics de pollution au dioxyde de soufre, aux oxydes d'azote et aux particules en suspension sont souvent liés à ce phénomène d'inversion de température.

Les polluants, les sources, les effets et les valeurs réglementaires

A noter en préambule : depuis quelques années, les dépassements horaires ou journaliers des seuils d'information ou d'alerte ne se basent plus uniquement sur les dépassements mesurés aux stations, mais prennent en compte les prévisions faites par modélisation, avec à la fois des critères de surfaces et de populations exposées. Ces critères ainsi que les actions qui peuvent être mises en place pour favoriser la réduction des émissions sont précisées dans les documents suivants :

- le « Document cadre zonal relatif aux procédures préfectorales et aux mesures de dimension interdépartementale en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant » (Arrêté zonal du 22 mai 2017)

<https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/publications/document-cadre-zonal-relatif-aux-procedures-prefectorales-et-aux-mesures-de-dimension>

- les arrêtés départementaux, diffusés entre novembre 2017 et mars 2018 précisent en particulier les actions et les mesures d'urgence à mettre en place et leurs périmètres en cas d'épisode de pollution.

<https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/publications/arretes-prefectoraux-departementaux-relatifs-aux-procedures-prefectorales-dinformation>

Les oxydes d'azote (NO, NO₂)

Le terme « oxydes d'azote » désigne le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Ces composés sont formés par oxydation de l'azote atmosphérique (N₂) lors des combustions (essentiellement à haute température) de carburants et de combustibles fossiles.

Le dioxyde d'azote (NO₂) est émis lors des phénomènes de combustion, principalement par combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air. Les sources principales sont les véhicules et les installations de combustion.

Le pot catalytique a permis depuis 1993, une diminution des émissions des véhicules à essence, mais l'effet reste encore peu perceptible compte tenu de la forte augmentation du trafic et de la durée de renouvellement du parc automobile. De plus, les véhicules diesel, en forte progression ces dernières années, rejettent davantage de NOx.

A noter : le NO₂ peut se rencontrer également à l'intérieur des locaux où fonctionnent des appareils au gaz tels que les gazinières, chauffe-eau, etc.

Les effets sur la santé :

A forte concentration, le NO₂ est un gaz toxique et irritant pour les yeux et les voies respiratoires. Les effets chroniques spécifiques de ce polluant sont difficiles à mettre en évidence du fait de la présence dans l'air d'autres polluants avec lesquels il est corrélé. Le NO₂ est aussi un gaz irritant pour les bronches. Chez les asthmatiques, il augmente la fréquence et la gravité des crises. Chez l'enfant, il favorise les infections pulmonaires. Cependant, on estime aujourd'hui qu'il n'y a pas de risque cancérigène lié à l'exposition au dioxyde d'azote.

Les effets sur l'environnement :

Le NO₂ participe aux phénomènes de pluies acides, à la formation de l'ozone troposphérique, dont il est un des précurseurs, à la dégradation de la couche d'ozone et à l'effet de serre. Enfin, même si les dépôts d'azote possèdent un certain pouvoir nutritif, à long terme, ces apports peuvent créer un déséquilibre nutritif dans le sol qui se répercute par la suite sur les végétaux.

Polluants	Valeurs limites annuelles	Objectifs de qualité	Seuil de recommandation et d'information	Seuil d'alerte
Dioxyde d'azote (NO₂)	En moyenne annuelle : depuis le 01/01/10 : 40 µg/m ³ En moyenne horaire : depuis le 01/01/10 : 200 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 heures par an.	En moyenne annuelle : 40 µg/m ³	En moyenne horaire : 200 µg/m ³	En moyenne horaire : - 400 µg/m ³ dépassé sur 3 heures consécutives - 200 µg/m ³ si dépassement de ce seuil la veille, et risque de dépassement de ce seuil le lendemain

Les particules (PM10, PM2.5)

Les particules en suspension, communément appelées « poussières », proviennent en majorité de la combustion à des fins énergétiques de différents matériaux (bois, charbon, pétrole), du transport routier (imbrûlés à l'échappement, usure des pièces mécaniques par frottement, des pneumatiques...) et d'activités industrielles diverses (sidérurgie, incinération, photo chauffage, chaufferie).

La surveillance réglementaire porte sur les particules PM10 (de diamètre inférieur à 10 µm), en moyenne journalière et en moyenne annuelle, mais également sur les PM2.5 (de diamètre inférieur à 2,5 µm) en moyenne annuelle.

Les effets sur la santé :

Selon leur granulométrie (taille), les particules pénètrent plus ou moins profondément dans l'arbre pulmonaire. Les particules les plus fines (taille inférieure à 2,5 µm) peuvent, à des concentrations relativement basses, irriter les voies respiratoires inférieures et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérogènes.

Les effets sur l'environnement :

Les effets de salissure des bâtiments et des monuments sont les atteintes à l'environnement les plus visibles. Le coût économique induit par leur remise en état (nettoyage, ravalement) est considérable. Au niveau européen, le chiffrage des dégâts provoqués sur le bâti serait de l'ordre de neuf milliards d'Euros par an.

Polluants	Valeurs limites annuelles	Objectifs de qualité	Seuil de recommandation et d'information	Seuils d'alerte
Particules fines de diamètre inférieur ou égal à 10 micromètres (PM10)	En moyenne annuelle : depuis le 01/01/05 : 40 µg/m ³ En moyenne journalière : depuis le 01/01/2005 : 50 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an	En moyenne annuelle : 30 µg/m ³	En moyenne journalière : 50 µg/m ³	En moyenne journalière : 80 µg/m ³
Particules fines de diamètre inférieur ou égal à 2,5 micromètres (PM2.5)	En moyenne annuelle : depuis le 01/01/15 : 25 µg/m ³	En moyenne annuelle : 10 µg/m ³	En moyenne annuelle : 20 µg/m ³	

Polluant	Objectif de réduction de l'exposition par rapport à l'IEM 2011* qui devrait être atteint en 2020		Obligation en matière de concentration relative à l'exposition qui doit être respectée en 2015
PM2.5	Concentration initiale	Objectif de réduction	20 µg/m ³ pour l'IEM 2015**.
	<= à 8,5 µg/m ³	0%	
	>8,5 et <13 µg/m ³	10%	
	>=13 et <18 µg/m ³	15%	
	>=18 et <22 µg/m ³	20%	
	>= à 22 µg/m ³	Toute mesure appropriée pour atteindre 18 µg/m ³	

* IEM 2011 : Indicateur d'exposition moyenne de référence, correspondant à la concentration moyenne annuelle en µg/m³ sur les années 2009, 2010 et 2011.

** IEM 2015 : Indicateur d'exposition moyenne de référence, correspondant à la concentration moyenne annuelle en µg/m³ sur les années 2013, 2014 et 2015.

Le B(a)P et autres Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont des composés à base de carbone et d'hydrogène qui comprennent au minimum deux cycles benzéniques. Il existe plusieurs dizaines de HAP, à la toxicité variable. Les HAP se forment par évaporation mais sont principalement rejetés lors de la combustion de matière organique. La combustion domestique du bois et du charbon s'effectue souvent dans des conditions mal maîtrisées (en foyer ouvert notamment).

Parmi les HAP, le benzo(a)pyrène est pour l'instant le seul polluant soumis à des valeurs réglementaires.

Les effets sur la santé :

Plusieurs HAP sont classés comme probables ou possibles cancérigènes, pouvant en particulier provoquer l'apparition de cancers du poumon en cas d'inhalation (phase particulaire surtout). Les métaux s'accumulent dans l'organisme et provoquent des effets toxiques. Ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires, etc. Le potentiel toxique et cancérigène varie cependant considérablement d'un composé à l'autre.

Polluants	Valeurs cibles*
Benzo(a)pyrène (utilisé comme traceur du risque cancérigène lié aux Hydrocarbures aromatiques polycycliques - HAP)	1 ng/m ³
<small>* Valeurs qui devraient être respectées le 31 décembre 2012 Moyenne calculée sur l'année civile du contenu total de la fraction PM10</small>	

Il faut noter cependant que, d'un point de vue strictement réglementaire, le dépassement n'est effectif que si la moyenne annuelle arrondie à l'entier supérieur dépasse cette valeur réglementaire.

Par exemple :

- une moyenne annuelle de 1,6 ng/m³, arrondie à 2 ng/m³, est en dépassement de la valeur cible
- une moyenne annuelle de 1,4 ng/m³, arrondie à 1 ng/m³, n'est pas considéré en dépassement.

Les composés organiques volatils (COV)

La famille des Composés Organiques Volatils (COV) regroupe toutes les molécules formées d'atomes d'hydrogène et de carbone (hydrocarbures) comme le benzène (C₆H₆) et le toluène (C₇H₈).

Les atomes d'hydrogène sont parfois remplacés par d'autres atomes comme l'azote, le chlore, le soufre, les halogènes (brome, chlore, fluor, etc.), le phosphore ou l'oxygène (exemple des aldéhydes).

Les COV se trouvent à l'état de gaz ou de vapeur dans les conditions normales de température et de pression. Ce sont principalement des vapeurs d'hydrocarbures et de solvants divers.

Ils proviennent de sources mobiles (transports), de procédés industriels (industries chimiques, raffinage de pétrole, stockage et distribution de carburants et combustibles liquides, stockages de solvants) mais également d'usages domestiques (utilisation de solvants, application de peinture). Ils interviennent en tant que précurseurs dans le phénomène de la pollution photo-oxydante (formation d'ozone) en réagissant notamment avec les oxydes d'azote.

Parmi les composés organiques volatils (COV), le benzène est pour l'instant le seul polluant soumis à des valeurs réglementaires.

Les effets sur la santé :

Leurs effets sont très divers selon la nature des composés : ils vont de la simple gêne olfactive à une irritation des voies respiratoires, une diminution de la capacité respiratoire, ou des risques d'effets mutagènes et cancérigènes (benzène). Les solvants organiques peuvent être responsables de céphalées, de nausées...

Le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, et l'acroléine sont particulièrement réactifs et responsables d'irritations des yeux, du nez, de la gorge et des voies respiratoires, de modifications pouvant aggraver l'état d'un asthmatique, voire sensibiliser les voies respiratoires (participation au développement de phénomènes allergiques).

Les effets sur l'environnement :

Les COV interviennent, avec les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone, dans le processus de formation de l'ozone dans la basse atmosphère. Les composés les plus stables chimiquement participent à l'effet de serre et à l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique (carbures halogénés notamment).

Le benzène

Le benzène est un Composé Organique Volatil dont les émissions dans l'atmosphère proviennent essentiellement de la combustion (chauffage au bois, gaz d'échappement des voitures) mais aussi des pertes par évaporation (lorsque l'on fait son plein de carburant par exemple). Le benzène fait partie des composés contribuant à la formation d'ozone en basse atmosphère.

Les effets sur la santé :

Le benzène peut provoquer une gêne olfactive, des irritations et une diminution de la capacité respiratoire. Il s'agit d'une substance classée cancérigène.

Les effets sur l'environnement :

Comme tous les composés organiques volatils, le benzène joue un rôle important dans les mécanismes de formation de l'ozone troposphérique. Il entre également en jeu dans les processus de l'effet de serre.

Polluants	Valeurs limites	Objectifs de qualité
Benzène (C₆H₆)	En moyenne annuelle : depuis le 01/01/10 : 5 µg/m ³	En moyenne annuelle : 2 µg/m ³

Les dioxines et furanes

Les dioxines et furanes font partie de la famille des Polluants Organiques Persistants (POP) au même titre que les PCB (PolyChloroBiphényles) et de nombreuses dizaines d'autres polluants (certains pesticides et autres produits chimiques industriels).

Les dioxines sont issues de combustions en présence de chlore, d'oxygène, de carbone et d'hydrogène.

Les principales sources d'émissions sont : l'incinération de déchets et de boues, le chauffage, les feux de bois, incendies, le brûlage de câbles, le blanchiment du papier avec des composés chlorés, le transport routier, la fabrication d'herbicides...

Les dioxines et furanes se fixent dans les graisses.

Les effets sur la santé :

L'impact des dioxines et furanes sur la santé humaine est avéré.

Ces polluants font partie de la famille des Polluants Organiques Persistants (POP) qui sont définis par rapport à quatre caractéristiques :

- 1- Notion de persistance : ce sont des molécules très résistantes à la température et à toutes autres dégradations de type chimique ou biologique. Persistantes dans l'environnement et l'organisme humain, leur demi-vie est de l'ordre de 7 à 10 ans.
- 2- Notion de bioaccumulation : en raison de leur capacité à s'accumuler dans les tissus vivants, leurs concentrations augmentent tout au long de la chaîne alimentaire. En raison de sa stabilité, la « demi-vie » de la molécule de dioxine dans l'organisme est de l'ordre de sept ans. Hormis la dégradation naturelle de la dioxine, la femme possède la capacité de l'éliminer par un transfert dans le placenta et le lait maternel, mais expose alors le nourrisson.
- 3- Notion de transport sur de longues distances : ces polluants peuvent se déplacer dans les masses d'air sous forme de fines particules et se déposer à des centaines de kilomètres de leurs lieux d'émission.
- 4- Notion d'exposition : Une exposition à court terme à des teneurs élevées en dioxine peut être à l'origine de lésions cutanées, chloracné et formation de taches sombres sur la peau par exemple, ainsi qu'une altération de la fonction hépatique. Une exposition prolongée peut endommager le système immunitaire, perturber le développement du système nerveux, être à la source des troubles du système endocrinien et de la fonction de reproduction.

La dioxine de Seveso (2,3,7,8-TCDD) est pour l'instant la seule dioxine reconnue cancérigène pour l'homme, d'après le Centre international de recherche sur le cancer. Cependant, plusieurs autres dioxines sont reconnues comme étant tératogènes et induisant une foëto-toxicité, des baisses de la fertilité, ainsi que des troubles endocriniens.

Les concentrations de dioxines sont généralement exprimées en unité internationale (I-TEQ) qui pondère la concentration de 17 congénères de dioxines/furanes avec un coefficient de toxicité dont la référence est la 2,3,7,8-TCDD.

Les effets sur l'environnement :

Dans l'air :

Les dioxines sont très peu volatiles, et se dispersent principalement dans l'atmosphère en se fixant sur de très fines particules par mécanisme d'adsorption. Bien que n'étant pas la voie majoritaire de contamination, l'air est cependant le premier vecteur des dioxines après leur émission. Les dioxines sont ainsi transportées sur de longues distances avant de retomber à la surface des sols et des milieux aquatiques.

Pour les sources industrielles de dioxines comme les incinérateurs, les points de retombées sont fréquemment calculés à l'aide de techniques de modélisation à partir des caractéristiques d'émission et météorologiques.

Dans les sols :

Emis dans l'atmosphère les dioxines se déposent directement sur le sol et sur la partie aérienne des végétaux. Les dix premiers centimètres du sol regrouperaient la majorité des retombées, environ 95%.

Dans l'eau :

Les dioxines contaminent les milieux aquatiques via les retombées atmosphériques, l'érosion des sols, les rejets industriels dans l'eau. Elles s'associent aux particules en suspension et sédimentent.

De par leur propriété hydrophobe, leurs concentrations dans l'eau sont très souvent non détectables.

Les métaux lourds

Les métaux lourds, parfois appelés éléments traces métalliques (ETM) regroupent une famille de composés assez vaste, dont le plus connu est le plomb, la plupart se trouvant à l'état particulaire, à l'exception du mercure (état gazeux).

Les principaux métaux surveillés sont l'Arsenic (As), le Cadmium (Cd), le Chrome (Cr), le Nickel (Ni), le Plomb (Pb) et le Zinc (Zn). Ils proviennent de la combustion des charbons, pétroles, ordures ménagères et de certains procédés industriels (métallurgie des métaux non ferreux notamment).

Quelques exemples de sources d'émissions de métaux lourds :

- L'arsenic (As) peut être émis par la métallurgie des métaux non ferreux et par la combustion de charbon.
- Le cadmium (Cd) peut se retrouver dans l'atmosphère à cause d'éruption volcanique ou de la métallurgie.
- Le nickel (Ni) peut avoir pour origine l'érosion éolienne des sols, l'utilisation de combustibles fossiles, la végétation, les activités de métallurgie ou de cimenterie, et l'incinération de déchets.
- Le plomb (Pb) a une origine principalement anthropique. Depuis la suppression des essences plombées, les principales sources sont la combustion du charbon, la métallurgie des, la sidérurgie, la production de ciment et l'incinération de déchets.

Les effets sur la santé :

Les métaux s'accumulent dans l'organisme et provoquent des effets toxiques. A court et/ou à long terme, ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires, etc. Le potentiel toxique et carcinogène varie cependant considérablement d'un composé à l'autre.

Les effets sur l'environnement :

Les métaux peuvent contaminer les sols et les aliments. Ils s'accumulent dans les organismes vivants, tout au long de la chaîne alimentaire. Certains lichens ou mousses sont, de ce fait, couramment utilisés pour surveiller les métaux dans l'environnement et servent de bio-indicateurs.

Polluants	Valeurs limites	Objectifs de qualité
Plomb (Pb)	En moyenne annuelle : depuis le 01/01/02 : 0,5 µg/m ³ (=500 ng/m ³)	En moyenne annuelle : 0,25 µg/m ³ (=250 ng/m ³)

Polluants	Valeurs cibles* en moyenne annuelle
Arsenic	6 ng/m ³
Cadmium	5 ng/m ³
Nickel	20 ng/m ³
* Valeurs qui devraient être respectées le 31 décembre 2012 Moyenne calculée sur l'année civile du contenu total de la fraction PM10	

Le dioxyde de soufre (SO₂)

Le dioxyde de soufre (SO₂) est un polluant essentiellement industriel. Les sources principales sont les centrales thermiques, les grosses installations de combustion industrielles, l'automobile et les unités de chauffage individuel et collectif. Cependant, les émissions de SO₂ ont largement diminué depuis plusieurs années entraînant une baisse considérable des concentrations dans l'atmosphère pour ce polluant.

Les effets sur la santé :

Le dioxyde de soufre est un irritant des muqueuses, de la peau et des voies respiratoires supérieures (toux, dysphées, etc.). Il agit en synergie avec d'autres substances, les particules fines notamment. Comme tous les polluants, ses effets sont amplifiés par le tabagisme.

Le mélange acido-particulaire peut, en fonction des concentrations, provoquer des crises chez les asthmatiques, accentuer les gênes respiratoires chez les sujets sensibles et surtout altérer la fonction respiratoire chez l'enfant (baisse de capacité respiratoire, toux).

Les effets sur l'environnement :

Le dioxyde de soufre se transforme en acide sulfurique au contact de l'humidité de l'air et participe au phénomène des pluies acides. Il contribue également à la dégradation de la pierre et des matériaux de nombreux monuments.

Polluants	Valeurs limites	Objectifs de qualité	Seuil de recommandation et d'information	Seuil d'alerte	Niveau critique
Dioxyde de soufre (SO₂)	En moyenne journalière : 125 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an. En moyenne horaire : depuis le 01/01/05 : 350 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 24 heures par an.	En moyenne annuelle : 50 µg/m ³ .	En moyenne horaire : 300 µg/m ³ .	En moyenne horaire sur 3 heures consécutives : 500 µg/m ³ .	En moyenne annuelle et hivernale (pour la protection de la végétation) : 20 µg/m ³ .

L'ozone (O₃)

L'ozone (O₃) est un polluant secondaire. Il n'est pas directement rejeté par une source de pollution et il n'est donc pas présent dans les gaz d'échappement des véhicules ou les fumées d'usine. Il se forme par une réaction chimique initiée par les rayons UV (Ultra-Violet) du soleil, à partir de polluants dits « précurseurs de l'ozone », dont les principaux sont les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV).

Dans la stratosphère (10 à 60 km d'altitude), l'ozone est un filtre naturel qui protège la vie terrestre de l'action néfaste des UV du soleil : on parle de la couche d'ozone. Le « trou d'ozone » est une destruction partielle de ce filtre, liée à l'effet de certains polluants, notamment les fréons ou CFC (chlorofluorocarbones), dont la production et la vente sont désormais interdites.

Dans la troposphère (0 à 10 km d'altitude), où chacun d'entre nous respire quotidiennement, les taux d'ozone devraient être faibles. Cependant, certains polluants dits précurseurs, oxydes d'azote et composés organiques volatils, se transforment sous l'action du rayonnement solaire, et donnent naissance à l'ozone ou à d'autres composés irritants. Les précurseurs proviennent principalement du trafic routier, de certains procédés et stockages industriels, ainsi que de l'usage de solvants (peintures, etc.).

Il faut bien faire la différence entre deux types d'ozone :

- A très haute altitude, dans la stratosphère, l'ozone est un gaz naturellement il forme la « couche d'ozone » qui filtre et nous protège des rayons solaires ultraviolets.
- A basse altitude, dans la troposphère, l'ozone est présent en faible quantité. Lorsque sa concentration augmente, il est considéré comme un polluant dit « secondaire » car il se forme par réaction chimique entre des gaz précurseurs (NO_x, COV et CO). Ces réactions sont amplifiées par les rayons solaires.

Les effets sur la santé :

Les enfants, les personnes âgées, les asthmatiques, les insuffisants respiratoires sont particulièrement sensibles à la pollution par l'ozone. La présence de ce gaz irritant peut provoquer toux, inconfort thoracique, essoufflement, irritations nasale et oculaire. Elle augmente aussi la sensibilisation aux pollens. Lorsque le niveau ambiant d'ozone augmente, dans les jours qui suivent, une hausse de l'ordre de 1 à 4% des indicateurs sanitaires (mortalité anticipée, admissions hospitalières, etc.), est observée.

Les effets sur l'environnement :

L'ozone a des effets néfastes sur la végétation et perturbe la croissance de certaines espèces, entraîne des baisses de rendement des cultures, provoque des nécroses foliaires. Il contribue par ailleurs au phénomène des pluies acides et à l'effet de serre. Enfin, il peut attaquer et dégrader certains matériaux (ex : le caoutchouc).

Polluant	Valeurs limites	Objectifs de qualité	Seuil de recommandation et d'information	Seuils d'alerte	Valeurs cibles
Ozone (O ₃)		<p>Seuil de protection de la santé, pour le maximum journalier de la moyenne sur 8h : 120 µg/m³ pendant une année civile.</p> <p>Seuil de protection de la végétation, AOT 40* de mai à juillet de 8h à 20h : 6 000 µg/m³.h</p>	<p>En moyenne horaire : 180 µg/m³.</p>	<p>Seuil d'alerte pour une protection sanitaire pour toute la population, en moyenne horaire : 240 µg/m³ sur 1 heure</p> <p>Seuils d'alerte pour la mise en oeuvre progressive de mesures d'urgence, en moyenne horaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1^{er} seuil : 240 µg/m³ dépassé pendant trois heures consécutives. - 2^{ème} seuil : 300 µg/m³ dépassé pendant trois heures consécutives. - 3^{ème} seuil : 360 µg/m³. 	<p><u>Seuil de protection de la santé</u> : pour le max journalier de la moyenne sur 8h : 120 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 25 jours par année civile en moyenne calculée sur 3 ans. (valeur cible appliquée depuis 2010)</p> <p><u>Seuil de protection de la végétation</u> : AOT 40* de mai à juillet de 8h à 20h : 18 000 µg/m³.h en moyenne calculée sur 5 ans. (valeur cible appliquée depuis 2010)</p>

* AOT 40 (exprimé en µg/m³.heure) signifie la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m³ et le seuil de 80 µg/m³ durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs sur 1 heure mesurées quotidiennement entre 8 heures et 20 heures. (40 ppb ou partie par milliard=80 µg/m³)

