

RAPPORT D'ÉTUDE

BEPoPi (Bpco Exacerbation Pollution Picardie)

Evaluation du rôle de la pollution atmosphérique sur les exacerbations de Broncho Pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO) dans l'agglomération amiénoise

Etude menée en 2020



Auteurs : Mathilde Wabartha et Shouwen Zhang
conjointement avec le Pr Claire Andrejak et le Dr Pauline Leriche

Relecteur : Peggy Desmettres

Diffusion : Novembre 2021



Atmo Hauts-de-France est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (décret 2007-397 du 22 mai 2007) 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. Atmo Hauts-de-France est agréée du 1^{er} janvier 2019 au 31 décembre 2022, au titre de l'article L.221-3 du Code de l'environnement.

Conditions de diffusion

Atmo Hauts-de-France communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux. A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site www.atmo-hdf.fr.

Responsabilités

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Atmo Hauts-de-France. Ces données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure. Les résultats sont analysés selon les objectifs de l'étude, le contexte et le cadre réglementaire des différentes phases de mesures, les financements attribués à l'étude et les connaissances météorologiques disponibles.

Avertissement

Atmo Hauts-de-France n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © **Atmo Hauts-de-France – Rapport N°01/2021/MWA/SZH/V0**.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Atmo Hauts-de-France :

- depuis le formulaire de contact disponible à l'adresse <http://www.atmo-hdf.fr/contact.html>
- par mail : contact@atmo-hdf.fr
- par téléphone : 03 59 08 37 30

Réclamations

Les réclamations sur la non-conformité de l'étude doivent être formulées par écrit dans les huit jours de la livraison des résultats. Il appartient au partenaire de fournir toute justification quant à la réalité des vices ou anomalies constatées. Il devra laisser à Atmo Hauts-de-France toute facilité pour procéder à la constatation de ces vices pour y apporter éventuellement remède. En cas de litige, un accord amiable sera privilégié. Dans le cas où une solution n'est pas trouvée la résolution s'effectuera sous l'arbitrage des autorités compétentes.

	Nom	Qualité	Visa
Approbation	Hélène Devillers	Directrice	

Version du document : V3 basé sur trame vierge : EN-ETU-20

Date d'application : 01/01/2021

Sommaire

1. Synthèse de l'étude.....	8
2. Enjeux et objectifs de l'étude	9
3. Matériels et méthodes.....	13
3.1. Fourniture de données sanitaires par le CHU Amiens-Picardie	13
3.2. Fourniture de données de surveillance par Atmo Hauts-de-France	15
4. Contexte sanitaire et environnemental.....	20
4.1. Pandémie de COVID-19.....	20
4.2. Emissions connues.....	21
4.3. Contexte météorologique.....	24
4.4. Episodes de pollution	25
5. Quels liens existent entre pollution de l'air et BPCO ?	27
5.1. Population incluse.....	27
5.2. Bilan métrologique	31
5.3. Interprétation des mesures d'air ambiant	33
5.4. Surveillance des pollens.....	66
5.5. Surveillance des nuisances olfactives	67
6. Le lieu de résidence a-t-il un impact sur la pathologie ?.....	69
6.1. Dioxyde d'azote	69
6.2. Ozone	70
6.3. Particules PM10	71
6.4. Particules PM2.5	72
7. Conclusion et perspectives.....	74

Annexes

Annexe 1 : Glossaire.....	77
Annexe 2 : Origines et impacts des polluants surveillés.....	79
Annexe 3 : Explication détaillée de la modélisation des concentrations en polluants	81
Annexe 4 : Modes de surveillance de la qualité de l'air	88
Les stations de mesures.....	88
Critères d'implantation des stations fixes	88
Techniques de mesures	90
Annexe 5 : Fiches des émissions de polluants d'Amiens Métropole.....	92
Annexe 6 : Réglementation sur la Qualité de l'air ambiant	94
Annexe 7 : Synthèse du nombre de passages aux urgences pour l'analyse.....	96
Annexe 8 : Classification des grades de la BPCO	97

Illustrations

Figure 1 : Carte Santé Publique France des concentrations annuelles en PM2.5 en 2019	9
Figure 2 : Carte QGIS présentant la localisation des stations fixes de mesure de la qualité de l'air sur l'agglomération d'Amiens selon leur typologie.....	16
Figure 3 : Schéma de présentation du devenir des polluants dans l'atmosphère.....	21
Figure 4 : Emissions des polluants de l'étude issues des différents secteurs d'activités, sur le territoire d'Amiens Métropole (inventaire des émissions d'Atmo Hauts-de-France – source Base_A2015_M2017_V6)	22
Figure 5 : Carte des principaux émetteurs sur l'agglomération d'Amiens.....	23
Figure 6 : Rose des vents d'Amiens-Glisy [1er janvier 2020 au 31 décembre 2020].....	24
Figure 7 : Bilan des épisodes de pollution atmosphérique en région Hauts-de-France en 2020	25
Figure 8 : Bilan des épisodes de pollution atmosphérique sur la Somme en 2020	26
Figure 9 : Diagramme de flux de l'étude	27
Figure 10 : Modélisation des concentrations en NO ₂ sur le territoire en 2020.....	33
Figure 11 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des concentrations moyennes journalières en NO ₂ sur l'année 2020.....	34
Figure 12 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes journalières en NO ₂	35
Figure 13 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en NO ₂ en 2020	35
Figure 14 : Modélisation des concentrations en O ₃ sur le territoire en 2020.....	37
Figure 15 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des concentrations moyennes journalières en O ₃ sur l'année 2020.....	38
Figure 16 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes journalières en O ₃ à la station de Salouël	39
Figure 17 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes journalières en O ₃ à la station d'Amiens Saint-Pierre.....	39
Figure 18 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en O ₃ en 2020.....	40
Figure 19 : Modélisation des concentrations en PM10 sur le territoire en 2020	41
Figure 20 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des concentrations moyennes journalières en PM10 sur l'année 2020	42
Figure 21 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes journalières en PM10	43
Figure 22 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en PM10 en 2020 ..	43
Figure 23 : Modélisation des concentrations en particules PM2.5 sur le territoire en 2020.....	45
Figure 24 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des concentrations moyennes journalières en PM2.5 sur l'année 2020	46

Figure 25 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes en PM2.5 en 2020.....	47
Figure 26 : Corrélations entre inclusions patients et concentrations moyennes en PM2.5 en 2020	47
Figure 27 : Rose de pollution pour les particules ultrafines en 2020 (valeurs moyennes)	49
Figure 28 : Evolution mensuelle des concentrations en PUF en 2020.....	49
Figure 29 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des concentrations moyennes journalières en PUF sur l'année 2020.....	50
Figure 30 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes journalières en PUF en 2020.....	50
Figure 31 : Corrélations entre inclusions patients et concentrations moyennes journalières en PUF	51
Figure 32 : Corrélations entre inclusions patients et concentrations moyennes journalières en PUF par classe de taille.....	52
Figure 33 : Rose de pollution pour le Black Carbon en 2020 (valeurs moyennes).....	53
Figure 34 : Source d'origine du Black Carbon : carburant fossile et combustion de biomasse.....	54
Figure 35 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des concentrations moyennes journalières en Black Carbon sur l'année 2020	55
Figure 36 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes journalières en BC en 2020.....	55
Figure 37 : Corrélations entre inclusions patients et concentrations moyennes en BC, BCff et BCwb en 2020.....	56
Figure 38 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des concentrations moyennes journalières en métaux sur l'année 2020.....	58
Figure 39 : Evolution des concentrations en métaux issus du secteur industriel au regard des inclusions patients en 2020	58
Figure 40 : Evolution des concentrations en métaux issus du trafic routier au regard des inclusions patients en 2020	59
Figure 41 : Evolution des concentrations en métaux issus du fioul lourd au regard des inclusions patients en 2020	59
Figure 42 : Evolution des concentrations en métaux issus des poussières minérales au regard des inclusions patients en 2020	60
Figure 43 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes hebdomadaires en métaux en 2020.....	60
Figure 44 : Corrélations entre inclusions patients et concentrations moyennes totales en métaux en 2020.....	61
Figure 45 : Corrélations entre inclusions patients et concentrations moyennes en métaux issus du secteur industriel en 2020.....	61
Figure 46 : Corrélations entre inclusions patients et concentrations moyennes en métaux issus du trafic routier en 2020.....	62

Figure 47 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en métaux issus du fioul lourd en 2020.....	62
Figure 48 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en métaux issus des poussières minérales en 2020.....	63
Figure 49 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en métaux réglementés en 2020.....	64
Figure 50 : Evolution du nombre total de grains pour la surveillance pollinique entre 2018 et 2020	66
Figure 51 : Bilan chiffré de la surveillance pollinique dans l'Aisne, l'Oise et la Somme en 2020	66
Figure 52 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des comptages journaliers en pollens sur la période de surveillance pollinique du 29/01 au 15/09/2020.....	66
Figure 53 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution du RAEP sur la période de surveillance pollinique du 05/02 au 22/09/2020	67
Figure 54 : Nombre d'inclusions patients pour l'année 2020, au regard de l'évolution des déclarations journalières de nuisances olfactives	68
Figure 55 : Zoom de la carte annuelle 2020 de modélisation pour le NO ₂ sur Amiens avec localisation des patients et concentrations modélisées à leurs adresses (comparaison à la valeur limite annuelle de 40 µg/m ³).....	69
Figure 56 : Zoom de la carte annuelle 2020 de modélisation pour l'O ₃ sur Amiens avec localisation des patients et concentrations modélisées à leurs adresses	70
Figure 57 : Zoom de la carte annuelle 2020 de modélisation pour les particules PM10 sur Amiens avec localisation des patients et concentrations modélisées à leurs adresses (comparaison à la valeur limite annuelle de 40 µg/m ³).....	71
Figure 58 : Zoom de la carte annuelle 2020 de modélisation pour les particules PM2.5 sur Amiens avec localisation des patients et concentrations modélisées à leurs adresses (comparaison à la valeur limite annuelle de 25 µg/m ³).....	72
Figure 59 : Domaine de modélisation (Région Hauts-de-France) et périmètre de prise en compte des sources d'émission. Les communes qui correspondent aux adresses des patients sont soulignées en bleu foncé. Fond de carte : © les contributeurs d'OpenStreetMap.....	82
Figure 60 : Localisation des patients dans les différents départements de la région Hauts-de-France Fond de carte : © les contributeurs d'OpenStreetMap, openstreetmap.org – Couche communes : BD TOPO® 2017 de l'IGN.	83
Figure 61 : Réseau routier pris en compte pour la modélisation.....	85
Figure 62 : Localisation des sources industrielles ponctuelles de la région Hauts-de-France Fond de carte : © les contributeurs d'OpenStreetMap, openstreetmap.org – Couche communes : BD TOPO® 2017 de l'IGN.....	86
Figure 63 : Sources ferroviaires et fluviales prises en compte dans le modèle.....	87

Tableaux

Tableau 1 : Méthodologies et normes relatives à la mesure des analyseurs.....	15
Tableau 2 : Polluants mesurés par les stations fixes pendant l'étude en 2020.....	16
Tableau 3 : Taux de fonctionnement des appareils de mesures par polluant.....	32
Tableau 4 : Bilan en dioxyde d'azote (NO ₂) sur les stations de l'agglomération amiénoise pour l'année 2020	33
Tableau 5 : Bilan en ozone (O ₃) sur les stations de l'agglomération amiénoise en 2020	37
Tableau 6 : Bilan en particules PM10 sur les stations de l'agglomération amiénoise pour l'année 2020	41
Tableau 7 : Bilan en particules PM2.5 sur les stations de l'agglomération amiénoise pour l'année 2020	45
Tableau 8 : Bilan en particules ultrafines sur les stations de l'agglomération amiénoise pour l'année 2020	48
Tableau 9 : Impact des PUF selon leur taille sur les passages aux urgences, en analyse multivariée incluant en plus des PUF : métaux lourds, Black Carbon, NO ₂ , O ₃ , température, pollens et odeurs	52
Tableau 10 : Bilan en Black Carbon sur les stations de l'agglomération amiénoise pour l'année 2020	53
Tableau 11 : Résultats statistiques des corrélations entre Black Carbon et inclusions patients en fonction de leur origine	56
Tableau 12 : Bilan en Métaux réglementés sur les stations de l'agglomération amiénoise pour l'année 2020	57
Tableau 13 : Réglementation des métaux.....	57
Tableau 14 : Nombre de signalements d'odeurs entre décembre 2019 et décembre 2020	68

1. Synthèse de l'étude

Objectif des mesures : Etudier l'impact de la qualité de l'air sur les exacerbations de BPCO dans l'agglomération amiénoise.

Lieu des mesures : Territoire de la Communauté d'Agglomération d'Amiens Métropole.

Le CHU Amiens-Picardie et la Clinique de l'Europe ont inclus les patients se présentant aux urgences, pour exacerbation de BPCO.

En parallèle, les données journalières de qualité d'air ont été recueillies sur les 3 stations fixes d'Atmo Hauts-de-France (urbaine, péri-urbaine et proximité automobile), puis modélisées sur le territoire d'Amiens Métropole.



Dates des mesures : du 1^{er} janvier au 31 décembre 2020.

Polluants mesurés :

Polluants réglementés	Respect des valeurs réglementaires
Dioxyde d'azote	●
Particules PM10	●
Particules PM2.5	●
Ozone	●

« ● » Valeur réglementaire respectée

« ● » Valeur réglementaire non respectée

Résultats : ce qu'il faut retenir !

L'année 2020 a été marquée par la pandémie de COVID-19, entraînant deux confinements et un changement global des comportements de la population.

Durant l'année 2020, 268 inclusions ont été comptabilisées et 180 passages conservés et analysés (91,1% CHU Amiens-Picardie et 8,9% Clinique de l'Europe), soit 20 de plus que pour l'étude PolluBPCO en 2017. Au total, 110 patients inclus pour exacerbation de BPCO (24,5% de femmes et 75,5% d'hommes), âgés en moyenne de 67,1 ans. 14 d'entre eux sont considérés comme exacerbateurs fréquents (2 exacerbations ou plus).

En regardant le bilan de la qualité de l'air, les valeurs réglementaires ont été respectées pour le dioxyde d'azote et les particules PM10. Cependant, l'objectif qualité des particules PM2.5 (10 µg/m³) n'a pas été respecté, tout comme l'objectif long-terme pour la santé de l'ozone (120 µg/m³ en moyenne sur 8h glissantes).

A l'issue de cette étude, un lien est mis en évidence entre l'augmentation des concentrations en NO₂, métaux et particules ultrafines et les consultations de patients aux urgences pour exacerbation de BPCO.

Le tableau des polluants réglementés prend en compte trois types de valeurs réglementaires rappelées en Annexe 6 : la valeur limite, l'objectif de qualité et la valeur cible.

Les seuils réglementaires entrant dans les procédures d'information et de recommandation, et d'alerte (procédures permettant de caractériser un épisode de pollution) ne sont ici pas pris en compte. Il est ainsi possible, pour une année donnée, que les valeurs réglementaires aient été respectées et qu'en même temps il y ait eu des épisodes de pollution caractérisés.

Des polluants non réglementés ont été intégrés au sein de l'étude : les pollens ainsi que les nuisances olfactives. En outre, de nouveaux polluants spécifiques ont été ajoutés suite à l'étude PolluBPCO : le Black Carbon (Cf. Annexes 1 et 2), les particules ultrafines (PUF), ainsi que 35 métaux présents dans les particules PM10.

2. Enjeux et objectifs de l'étude

Plusieurs études montrent un lien potentiel entre qualité de l'air et BPCO (Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive). L'équipe de Bloemsma et al. a réalisé une méta-analyse sur 25 études pour évaluer le rôle des polluants sur la fonction ventilatoire¹. Elle retrouvait qu'une élévation de 10 µg/m³ des niveaux dans l'air ambiant des particules de moins de 10 µm de diamètre (particules en suspension PM10) avait un impact faible mais significatif sur le volume expiratoire maximal seconde (VEMS) de -3,38 mL et de 0,61 L/min du débit expiratoire de pointe. Des données sont également disponibles en termes de mortalité des patients BPCO. La plus grande étude est celle de Sunyer et Basagana, qui ont évalué 2 305 patients BPCO de plus de 35 ans en Espagne et ont retrouvé qu'une augmentation de plus de 27 µg/m³ de PM10 augmentait la mortalité toutes causes de ces patients de 11%². Ainsi, on retrouve une mortalité augmentée, un déclin accéléré du VEMS, et probablement aussi une augmentation du taux des hospitalisations des patients BPCO. Dans une grande étude américaine, s'intéressant aux patients admis pour maladies respiratoires et cardiaques dans 10 villes américaines, était retrouvée une augmentation de 2,5% des hospitalisations pour BPCO lors des augmentations de plus de 10 µg/m³ des PM10 sur une période de 5 jours³. D'autres études semblent montrer des résultats équivalents avec l'ozone (O₃) ou le dioxyde d'azote (NO₂)^{4,5,6}.

En France, la BPCO touche environ 3,5 millions de personnes, et a engendré 17 000 décès en 2017 (Inserm). Elle est la 1^{ère} cause de mortalité par maladie respiratoire non cancéreuse et la 3^{ème} cause de décès due au tabac après les cancers bronchiques et les maladies cardiovasculaires. Le taux de mortalité de la BPCO est de 9,2%. Elle est au 1^{er} rang des dépenses de santé (coût annuel de 6 100 €/malade), en raison d'une surconsommation d'antibiotiques et d'absentéisme. Dans les Hauts-de-France, le taux d'hospitalisation et de mortalité lié à la BPCO est supérieur de 20% à la moyenne nationale.

En ex-Picardie, deux particularités sont relevées :

1 – une exposition élevée aux particules fines PM2.5 :

L'étude de l'impact de l'exposition chronique à la pollution de l'air sur la région des Hauts-de-France menée par Santé Publique France en 2016 a montré que la pollution de l'air correspond à une perte d'espérance de vie entre **11 et 16 mois, en lien avec les particules PM2.5**. En effet, les concentrations moyennes annuelles sont particulièrement élevées dans le Nord de la France (entre 10 et 15 µg/m³ pour le département de la Somme, soit des concentrations supérieures à l'objectif de qualité recommandé). Cette évaluation quantitative

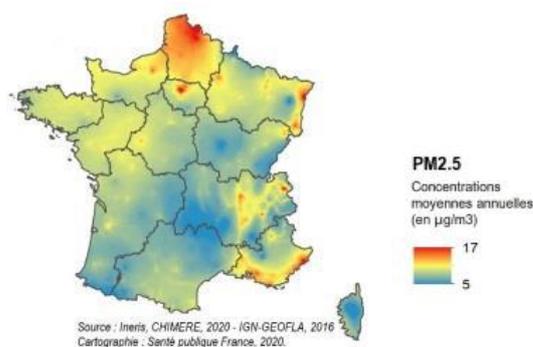


Figure 1 : Carte Santé Publique France des concentrations annuelles en PM2.5 en 2019

¹ Bloemsma LD, Hoek G, Smit LAM. Panel studies of air pollution in patients with COPD : systematic review and meta-analysis. *Environmental Res* 2016 ; 151 : 458-468

² Sunyer J, Basagana, X. Particles, and not gases, are associated with the risk of death in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Epidemiol* 2001 ; 30 : 1138-40

³ Zanobetti A, Schwartz J, Dockery DW. Airborne particles are a risk factors for heart and lung diseases. *Environ Health Perspect* 2000 ; 108 : 1127-34

⁴ Dominici F, Peng RD, Bell ML et al. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA* 2006 ; 295 : 1127-34

⁵ Medina-Ramon M, Zanobetti A, Schwartz J. The effects of ozone and PM10 on hospital admissions for pneumonia and chronic obstructive pulmonary disease : a national multicity study. *Am J Epidemiol* 2006 ; 163 : 579-88

⁶ Anderson HR, Spix C, Medina S et al. Air pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities : results from the APHEA project. *Eur Respir J* 1997 ; 10 : 1064-71

des impacts sanitaires montre également que **6 500 décès** par an sont attribuables à la pollution atmosphérique dans la région des Hauts-de-France.

En 2020, l'INERIS estime à **2 300**⁷ le nombre de décès évités, liés à une exposition plus faible de la population aux polluants atmosphériques, plus précisément aux particules, en raison des multiples confinements en lien avec la pandémie de Covid-19.

2 – un excès de mortalité et d'hospitalisations pour exacerbation de BPCO :

Les données de l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) montrent d'importantes disparités régionales en termes de BPCO. Ainsi, les régions Hauts-de-France et l'Est ont un taux supérieur de plus de 20% de mortalité chez les patients BPCO⁸. On retrouve également un taux d'hospitalisation liée à une exacerbation de BPCO supérieur de plus de 20% à la moyenne nationale dans notre région, chez les adultes de plus de 25 ans (données InVS, année 2012). Il convient donc d'évaluer cet excès de taux d'hospitalisation pour exacerbation des patients BPCO en Picardie et la surmortalité de cette population dans notre région.

Compte-tenu des données épidémiologiques, un lien entre excès d'exacerbations de BPCO et pollution atmosphérique semble tout à fait possible.

Dans ces conditions, le CHU Amiens-Picardie a souhaité corréliser la qualité de l'air avec les variations des taux d'exacerbations de BPCO sur le territoire d'Amiens Métropole, en s'associant à Atmo Hauts-de-France, en formant le projet PolluBPCO. L'objectif était de déterminer s'il existait une corrélation entre les pics d'exacerbation de BPCO et les pics de pollution, ainsi qu'au regard des données journalières de qualité de l'air. Pour cela, Atmo Hauts-de-France a recueilli les données quotidiennes de qualité d'air sur le territoire d'Amiens Métropole : dioxyde d'azote (NO₂), ozone (O₃), particules en suspension PM10 et particules fines PM2.5, ainsi que les données de nuisances olfactives (surveillance des odeurs) et les données polliniques (surveillance des pollens) à Amiens, au cours de l'année 2017. En parallèle, le CHU Amiens-Picardie et la Clinique de l'Europe, partenaires du projet, ont inclus tous les patients se présentant aux urgences pour exacerbation de BPCO, sur cette même période (ces deux structures de soins ayant des urgences et recevant la majorité des patients d'Amiens Métropole et des environs).

A l'issue de ce projet, différents points importants ont pu être relevés : l'étude a révélé un taux moyen d'hospitalisation de patients atteint de BPCO plus élevé durant les mois de janvier et février, période durant laquelle sont survenus deux épisodes de pollution en particules PM10 (Niveau d'Information et de Recommandation) en janvier, et un en février. Ces pics de consultation ont eu lieu de manière générale 3 à 5 jours après le début de l'épisode de pollution. A l'inverse, durant la période de juin à septembre, il n'a été constaté aucun pic de pollution aux PM10 et aucun pic d'exacerbation de BPCO. Fin juin 2017, un pic d'ozone est constaté, correspondant à une période de canicule. De manière concomitante, on note un pic de consultations pour exacerbation. Les résultats graphiques et mathématiques ont permis de révéler une corrélation entre l'élévation de trois polluants (PM2.5, O₃ et NO₂) et l'excès de consultations. Néanmoins, la grippe a eu un impact non négligeable dans l'excès de consultations aux urgences (pics de janvier-février et décembre).

⁷<https://www.ineris.fr/fr/ineris/actualites/impact-pollution-air-mortalite-ineris-contribue-etude-sante-publique-france-focus>

⁸ Henschel S, Atkinson R, Zeka A et al. Air pollution interventions and their impact on public health. *Int J Public Health*. 2015 ; 57 : 757-68

L'étude PolluBPCO a ainsi mis en évidence un lien entre pics de PM2.5, de PM10, de NO₂ ainsi qu'avec l'O₃ et les consultations pour exacerbation de BPCO aux urgences. L'exploitation des données relatives à l'humidité relative et aux odeurs n'ont pas montré d'influence sur le taux d'exacerbation quotidien des patients. Concernant les pollens, la gravité du stade de BPCO des patients inclus dans l'étude ayant plus d'incidence sur leur santé respiratoire que le fait qu'ils soient allergiques aux pollens, un lien n'a pas pu être montré directement.

Le travail de modélisation a quant à lui permis de faire ressortir des expositions différentes aux polluants surveillés sur le territoire Amiénois, en fonction des patients. Il peut être une aide dans l'accompagnement du patient, au regard de son profil d'exposition à l'air ambiant.

L'étude BEPoPi s'inscrit dans la continuité du projet PolluBPCO, dont les recherches ajoutent des informations sur la composition des particules en analysant **35 métaux** (cf. *Glossaire*). De plus, elles permettront d'avoir des pistes sur les sources des particules en mesurant le **Black Carbon** à l'aide d'un aéthalomètre, indiquant la part de combustion fossile liée au trafic, et la part de combustion de biomasse liée au chauffage au bois. Enfin, une troisième catégorie de particules en suspension seront ajoutées à cette étude : les **particules ultrafines** (PUF), désignant des particules dont le diamètre est inférieur à 100 nm. Dans cette étude, les PUF signifient la concentration en nombre par cm³ d'air des particules fines entre 20-800 nm.

Dans le cas où la corrélation entre certaines particules et la pollution de l'air et la BPCO est retrouvée, des mesures spécifiques, à la fois pour alerter les patients, mais aussi pour essayer d'améliorer la qualité de l'air à l'échelle de la population générale mais aussi à l'échelle individuelle pourront être proposées. Ainsi, nous proposons dans ce projet de co-réaliser un flyer à distribuer et à expliquer aux patients lors de leur visite à l'hôpital ou en clinique. Le patient pourrait ainsi trouver des éléments sur le lien entre pollution atmosphérique et sa pathologie, des informations sur la qualité de l'air ou encore les recommandations sanitaires. Ce document présentera également les organismes auprès duquel le patient pourra trouver des informations, s'abonner aux alertes pollution...

Ce flyer devra pouvoir être adapté pour être réutilisé sur d'autres territoires.

La mise en évidence d'un lien entre sur-hospitalisation pour exacerbation dans notre région par rapport à la moyenne nationale et augmentation de la pollution atmosphérique pourrait être un bon élément pour la prise de décision des pouvoirs publics pour améliorer la qualité de l'air.

Dans le cadre de ce projet, nous prévoyons de présenter et valoriser les résultats lors de différentes manifestations, notamment lors de la journée mondiale BPCO ou encore lors de congrès nationaux (Congrès de Pneumologie en Langue Française) et internationaux (ERS European Respiratory Society).

Cette étude a été réalisée sur le territoire d'Amiens-Métropole et financée par le Programme hospitalier de Recherche Clinique Interrégional du ministère des Solidarités et de la Santé mis en œuvre par le Groupement Interrégional de la Recherche Clinique et de l'Innovation, dans le cadre d'une convention de partenariat de recherche avec Atmo Hauts-de-France.

Au début de l'année 2021, l'association Santé respiratoire France a lancé une enquête⁹, durant laquelle elle a recueilli les réponses de 604 malades sur leur perception de la qualité de l'air intérieur et extérieur au regard de leur maladies, et leurs difficultés engendrées par une mauvaise qualité de l'air. Parmi les patients ayant participé à l'enquête, **85%** d'entre eux ont déclaré souffrir de BPCO.

Les résultats de l'enquête ont montré que : **99% des patients enquêtés sont conscients de l'impact de la qualité de l'air intérieur et extérieur sur leur santé.** Parmi eux, **79%** estiment que la qualité de l'air extérieur a davantage d'effets néfastes que la qualité de l'air intérieur.

De plus, **58%** des patients de l'enquête éprouvent des difficultés à trouver des informations relatives aux études « Santé et environnement », et **83% ont le souhait d'être informés d'une meilleure manière au quotidien.** Ces chiffres parlants attestent du besoin de réaliser des études poussées sur cette thématique pour apporter des résultats fiables, et ainsi pousser les pouvoirs publics à établir des actions visant à répondre au mieux aux besoins de ces personnes sensibles, qui pour presque la totalité affirment être préoccupées par la qualité de l'air.

⁹ https://sante-respiratoire.com/wp-content/uploads/2021/10/SR_DOSSIER-DE-PRESSE-12102021.pdf

3. Matériels et méthodes

3.1. Fourniture de données sanitaires par le CHU Amiens-Picardie

3.1.1. Recrutement des patients par le CHU Amiens-Picardie

Le CHU Amiens-Picardie a réalisé une étude multicentrique, prospective, épidémiologique, observationnelle sur les centres du CHU Amiens-Picardie et de la Clinique de l'Europe, qui sont les deux principales structures de soins à Amiens. Toutes les exacerbations de BPCO diagnostiquées aux urgences du CHU Amiens-Picardie et de la Clinique de l'Europe, entre le 1er janvier et le 31 décembre 2020, ont été incluses, qu'elles aient nécessité ou non une hospitalisation. Cette période d'un an a été choisie délibérément afin de s'affranchir des variations saisonnières qui peuvent interférer sur les taux d'exacerbations de BPCO.

Les patients ont donc été inclus à chacune de leur exacerbation, un même patient pouvant être inclus plusieurs fois.

La définition de la BPCO s'appuyait sur celle de la HAS (Haute Autorité de Santé) et sur les critères du GOLD (Global Obstructive Lung Diseases), à savoir la présence d'un trouble ventilatoire obstructif non réversible aux épreuves fonctionnelles respiratoires (EFR) chez un patient tabagique actif ou sévère.

Les patients pour lesquels un diagnostic clinique de BPCO était très probable, mais dont les EFR (cf. *Glossaire*) n'avaient pas encore été réalisées ont été inclus et exclus secondairement si aucune EFR n'était réalisée dans les 6 mois qui suivaient le passage aux urgences ou si les EFR réalisées ne montraient pas de trouble ventilatoire obstructif non réversible.

La définition de l'exacerbation de BPCO était une majoration des symptômes respiratoires débutant de façon aiguë, durant plus de 24h ou justifiant une modification thérapeutique.

Les patients refusant de participer à l'étude n'ont pas été inclus, de même que les patients sous tutelle, sous curatelle ou privés de liberté.

Après relecture des dossiers des patients inclus, le CHU Amiens-Picardie a secondairement exclus les patients présentant une cause évidente pouvant expliquer l'exacerbation de BPCO à savoir :

- Les pneumopathies infectieuses bactériennes documentées,
- Les pneumopathies infectieuses avec image radiologique,
- Les pneumopathies grippales,
- Les pneumopathies à Covid 19,
- Les autres infections (infections urinaires, etc.),
- Les pneumopathies radiques,
- La présence d'un corps étranger endobronchique,
- Les décompensations cardiaques,
- Les troubles du rythme cardiaque (fibrillation atriale, dysfonction sinusale, etc.),
- Les poussées d'hypertension pulmonaire,
- Les embolies pulmonaires,
- Les pneumothorax.

Ont également été exclus les patients pour lesquels un diagnostic clinique de BPCO était très probable et pour lesquels :

- soit aucune EFR n'était réalisée dans les 6 mois qui suivaient le passage aux urgences,
- soit si les EFR réalisées ne montraient pas de trouble ventilatoire obstructif réversible.

Lors de chaque passage aux urgences pour exacerbation de BPCO, après vérification qu'il s'agissait bien d'un patient BPCO et d'un épisode d'exacerbation, le CHU Amiens-Picardie a recueilli le consentement oral du patient, après lui avoir expliqué et remis une lettre d'informations. Ont ensuite été recueillies différentes données : l'âge, le sexe, les allergies, le statut vaccinal, l'adresse du domicile, l'adresse du lieu de travail (si le patient était encore en activité), les données spirométriques et le statut tabagique. Le CHU Amiens-Picardie a également recueilli le numéro de l'épisode d'exacerbation sur l'année, afin de prendre en compte le profil exacerbeur fréquent et la nécessité ou non d'une hospitalisation.

3.1.2. Traitement statistique et aspect réglementaire

Cette étude a été soumise au Comité de Protection des Personnes (CPP) Ile-de-France X le 26/06/2019 et a obtenu un avis favorable en tant que recherche non interventionnelle sous le numéro ID-RCB : 2019-A00294-53.

Cette étude a également été déclarée à la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL).

Il n'a pas été réalisé de calcul du nombre de sujets nécessaires puisque le CHU Amiens-Picardie a inclus tous les patients se présentant pour exacerbation de BPCO au CHU ou à la Clinique de l'Europe, sur une période d'un an.

Les **variables quantitatives** sont exprimées en moyenne \pm écart type ou en médiane [écart interquartile].

Les **variables qualitatives** sont exprimées en pourcentage. L'évolution du nombre d'exacerbations et des paramètres mesurant la qualité quotidienne de l'air ont été représentés graphiquement.

Afin de tenir compte de l'autocorrélation entre les données, le CHU Amiens-Picardie a également recherché une association entre le nombre quotidien d'exacerbations et chacune des variables mesurant la qualité de l'air à l'aide de séries chronologiques avec un modèle linéaire généralisé de type ARIMA autorégressif selon la loi de Poisson (GLARMA). Après avoir rendu la série stationnaire, une analyse ajustée sur la température, l'humidité, la pollution olfactive et les pollens a été réalisée.

L'ensemble de l'**analyse statistique** a été réalisée avec le logiciel R version 4.0.5 à travers l'interface RStudio de software Version 1.0.143 - © 2009-2016 RStudio, Inc. La puissance du modèle peut être définie par la valeur p (cf. *Glossaire*). Elle permet de rejeter ou non une hypothèse nulle. Dans le cas de cette étude, l'hypothèse nulle est qu'il n'existe pas de lien entre les concentrations du polluant d'intérêt et les inclusions des patients admis pour BPCO. Plus la valeur de p obtenue est faible, plus la probabilité de commettre une erreur en rejetant l'hypothèse nulle est faible. Ainsi, un **p inférieur à 0,05** est considéré comme **significatif**. En effet, cela correspond à une erreur de type alpha de 5% (c'est à dire un risque de 5% d'affirmer une non-corrélation entre des variables qui en présente une en réalité).

Les données manquantes sur les variables explicatives (données météorologiques) ont été imputées selon une méthode de régression linéaire itérative (package « mice », logiciel R). Les variables recueillies en milieu urbain et périurbain étant très corrélées entre elles, celles qui comptaient le moins de valeurs manquantes ont été retenues dans l'analyse. Les variables « Cs » (césium) et « Fe » (fer) étant corrélées à plus de 90% avec « Mn » (manganèse), seule la variable Mn a été retenue dans l'analyse. Pour ce qui est de la modélisation, le CHU s'est servi du logiciel qu'utilise Atmo Hauts-de-France pour représenter les modélisations annuelles à l'échelle urbaine : ADMS Urban. Pour l'analyse statistique, le logiciel SAS du CHU d'Amiens-Picardie a été utilisé.

3.2. Fourniture de données de surveillance par Atmo Hauts-de-France

Atmo Hauts-de-France a fourni et analysé les données journalières de qualité de l'air ambiant sur l'Agglomération amiénoise : les concentrations en **PM10**, **PM2.5**, **NO₂** et **O₃**, des données hebdomadaires sur les **pollens** (de mi-février à mi-septembre), et enfin des données journalières de **nuisances olfactives**, provenant de déclarations spontanées d'odeurs. Ces données sont les mêmes que celles recueillies lors de l'étude PolluBPCO.

En outre, pour cette nouvelle étude BEPoPi, Atmo Hauts-de-France a déployé trois approches complémentaires durant l'année 2020, afin d'obtenir des données sur des concentrations de fond en milieu urbain pour : **35 métaux lourds** présents dans les PM10 (prélèvements hebdomadaires), le **Black Carbon (BC)** et les **particules ultrafines (PUF)**.

3.2.1. Dispositif de mesures de l'étude

Les mesures automatiques ont été effectuées par les 3 stations de mesures de l'agglomération d'Amiens. Les concentrations en polluants sont relevées tous les quarts d'heure, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

Le tableau ci-dessous récapitule les différentes méthodologies et normes relatives à la mesure des différents analyseurs utilisés.

Accréditation ¹⁰	Paramètre	Méthode de mesure	Norme de référence	Unités
	Ozone (O₃)	Photométrie UV	NF EN 14625	µg/m ³
	Oxydes d'azote (NO et NO₂)	Chimiluminescence	NF EN 14211	µg/m ³
-	Particules en suspension (PM10) Particules fines (PM2.5)	Gravimétrie différentielle	NF EN 16450	µg/m ³
-	Particules ultrafines	UFP 3031	/	p/cm ³
-	Black Carbon	Aéthalomètre AE33	/	µg/m ³
-	Métaux	ICP-MS et ICP-AES	NF EN 14902	ng/m ³ µg/m ³

Tableau 1 : Méthodologies et normes relatives à la mesure des analyseurs

La description des différents moyens de mesure dont dispose Atmo Hauts-de-France est décrite en détails en *Annexe 4*.

¹⁰ Le logo COFRAC désigne les paramètres sous accréditation.

3.2.2. Localisation

La carte ci-dessous présente la localisation des 3 stations de mesures de la qualité de l'air pour l'année 2020, sur le territoire de la Communauté d'Agglomération d'Amiens Métropole, qui regroupe aujourd'hui 39 communes et environ 180 000 habitants.

Selon les études statistiques de l'INSEE (cf. *Glossaire*), l'agglomération amiénoise comptait 180 905 habitants en 2018, pour une superficie de 348,7 km², soit une densité de population de 518,8 habitants au km².

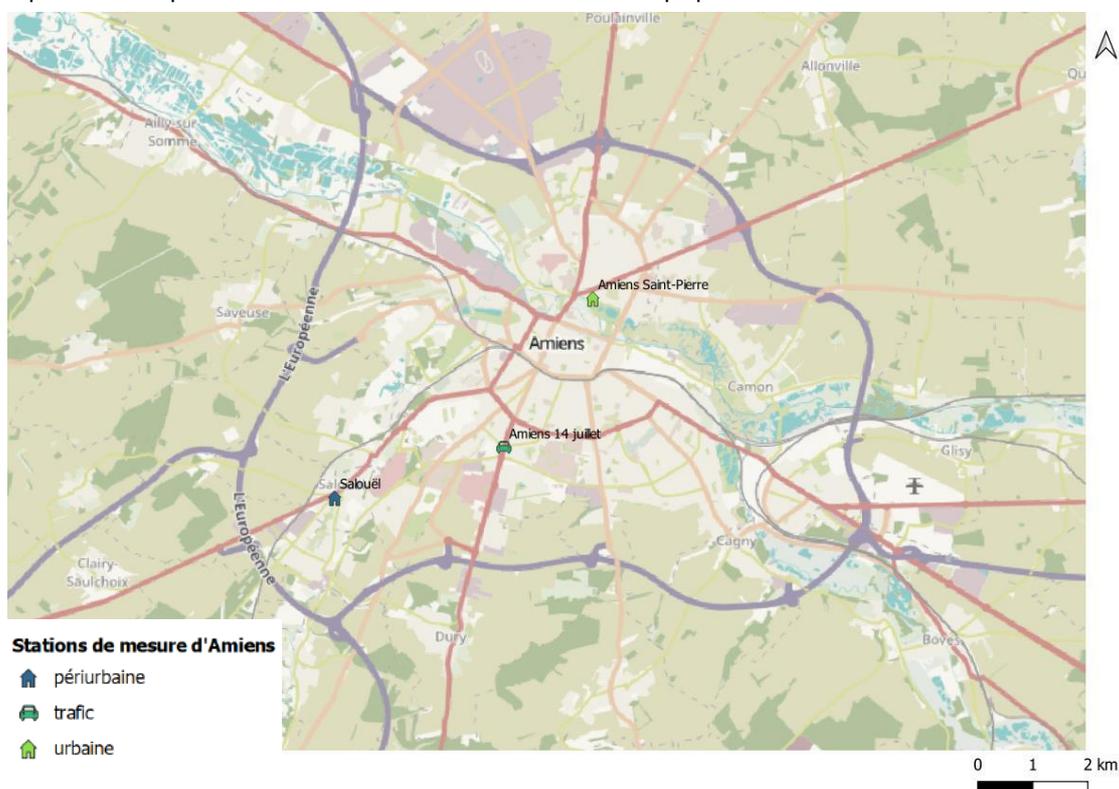


Figure 2 : Carte QGIS présentant la localisation des stations fixes de mesure de la qualité de l'air sur l'agglomération d'Amiens selon leur typologie

3.2.3. Dispositif de référence

Selon leurs critères d'implantation et les caractéristiques environnementales, les 3 stations fixes d'Atmo situées à Amiens (zone de l'étude) ne mesurent pas systématiquement les mêmes polluants (descriptif des stations fixes en *Annexe 4*). Le tableau ci-dessous reprend les polluants mesurés par chacune des stations fixes de référence pendant la période d'étude :

Station fixe	Oxydes d'azote	Ozone	Particules en suspension PM10	Particules fines PM2.5	PUF	BC	Métaux	Paramètres météorologiques
Salouël (périurbaine)	■	■	■					
Amiens St-Pierre (urbaine)	■	■	■		■	■	■	
Amiens 14 juillet (trafic)				■				
Amiens-Glisy (Météo France)								■

Tableau 2 : Polluants mesurés par les stations fixes pendant l'étude en 2020

Atmo Hauts-de-France a fourni également au CHU Amiens-Picardie ses données de surveillance aérobiologique (pollens), pour la période de février à septembre, et les données relatives aux déclarations d'odeurs du Réseau de Nez mis en place avec Amiens Métropole, ainsi que les déclarations publiques recensées sur l'application ODO d'Atmo Hauts-de-France.

3.2.4. Surveillance des pollens

Le pollen permet aux plantes de se reproduire et d'assurer la sauvegarde des espèces végétales, mais il peut être aussi à l'origine de réactions allergiques, pour près de 20 % de la population. Toutes les plantes à fleurs produisent du pollen, mais tous les pollens ne sont pas allergisants. De plus, les plantes ne produisent pas de pollens toute l'année, chaque plante à sa propre saison pollinique, généralement entre février et septembre.

Aspiré par l'Homme, le pollen peut irriter le système respiratoire et provoquer rhino-conjonctivite (rhume des foins), toux, gênes respiratoires, démangeaisons, voire asthme, urticaire et eczéma. On appelle « pollinoses » les affections essentiellement respiratoires provoquées par les pollens présents dans l'air. Les signes qui doivent faire penser à une rhino-conjonctivite (symptôme le plus courant), également appelé « rhume des foins » sont regroupés sous le sigle PAREO : P comme Prurit (le nez démange), A comme Anosmie (on perd l'odorat - plus rarement -), R comme Rhinorrhée (le nez qui coule), E comme Eternuements, O comme Obstruction (on a le nez bouché).

Selon l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), le réchauffement climatique et la présence de polluants chimiques dans l'atmosphère accentuent les réactions allergiques aux pollens. Les substances polluantes présentes dans l'air fragilisent la paroi des grains de pollen, qui libèrent plus facilement les protéines des pollens responsables des allergies. De plus, la pollution aggrave les réactions allergiques. En effet, les polluants irritent le système respiratoire et les yeux, qui deviennent plus sensibles aux affections allergiques.

La mission d'Atmo est de prélever et comptabiliser les pollens présents dans l'air, pendant cette saison pollinique, de février à septembre, afin d'aider à prévoir les risques d'allergies pour la semaine en cours et en informer les personnes sensibles, ceci en collaboration avec un médecin allergologue référent.

Le prélèvement des pollens est effectué à l'aide d'un capteur situé à Boves (Somme), à 20 mètres de hauteur, aspirant un débit d'air régulier équivalent à la respiration humaine, à savoir 10 litres d'air par minute.

L'analyse consiste à reconnaître et compter les pollens. L'observation des pollens se fait à l'aide d'un microscope optique et l'enregistrement des résultats se fait par reconnaissance vocale.

A partir du nombre total de pollens comptés et des espèces végétales identifiées, un indice du risque d'allergie aux pollens est défini par l'analyste pollens, sur une échelle de 1 (très faible) à 5 (très élevé). Cet indice est confirmé par le médecin allergologue référent, qui rédige un commentaire sanitaire, en lien avec le Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA).

Le bulletin du risque d'allergies aux pollens est alors diffusé chaque semaine sur le site d'Atmo Hauts-de-France et sur les réseaux sociaux (Facebook, Twitter).

Les personnes sensibles peuvent aussi s'abonner gratuitement sur le site d'Atmo Hauts-de-France pour recevoir par courriel ou sms chaque semaine l'indice « pollens ».

3.2.5. Surveillance des nuisances olfactives

Depuis 2007, à la demande d'Amiens Métropole, Atmo a mis en place un réseau de veille olfactive sur l'agglomération amiénoise.

Les nuisances olfactives représentent un des principaux motifs de plaintes de la population, après le bruit.

La loi du 2 août 1961, Art 1er prévoit que : « Les établissements industriels, commerciaux, artisanaux ou agricoles devront être construits, exploités ou utilisés de manière notamment à éviter les pollutions de l'atmosphère et les odeurs qui incommode la population. ». La surveillance des odeurs est encadrée par la norme EN 13725.

Depuis plus d'une dizaine d'années, Atmo travaille sur ce sujet à travers plusieurs actions :

- la mise en place d'un réseau de « Nez » (personnes bénévoles formées à la reconnaissance des odeurs) sur Amiens Métropole, dont certains salariés d'Atmo.

Une formation de « Nez » a été proposée aux habitants volontaires afin de les aider à détecter, à décrire et à identifier les pollutions olfactives sur le territoire amiénois. Les industriels ont également formé du personnel afin d'acquérir des compétences internes et ainsi, pouvoir échanger avec nos experts. Le réseau « Les Nez Amiénois », qui compte aujourd'hui une quarantaine de membres, vise à surveiller objectivement et précisément les odeurs pour améliorer le bien-être des riverains.

- la mise en place de la plateforme de signalements des odeurs pour l'agglomération amiénoise (application ODO et site internet <https://www.atmo-odo.fr/>).

Les gênes olfactives peuvent être signalées sur le site internet ODO ou avec l'application sur Android et App Store (service proposé actuellement pour le territoire d'Amiens Métropole uniquement).

Pour les guider dans leur description, les utilisateurs d'ODO Grand Public ont la possibilité de détailler la nuisance olfactive par ce qu'elle leur évoque (gaz d'échappement, œuf pourri, odeur de bitume...) et en termes d'intensité (faible, forte, très forte), ou encore par le ressenti (gênant, très gênant, etc.). Tous les signalements enregistrés dans ODO sont géolocalisés afin de dresser la cartographie quotidienne des nuisances déclarées et de permettre une interprétation précise des informations recueillies.

L'Observatoire de l'air reçoit les signalements sur la plateforme ODO par le biais du Grand Public ou des Nez d'Amiens Métropole. Les signalements sont vérifiés puis analysés afin de faire ressortir des indicateurs spécifiques à la zone géographique.

3.2.6. Volet modélisation

En pollution atmosphérique, comme dans de nombreux autres domaines d'études, les moyens de calcul numérique permettent aujourd'hui de « simuler », ou « modéliser », de nombreux phénomènes qu'il est difficile de mesurer et d'observer.

La modélisation permet de déterminer les concentrations de divers polluants sur un territoire étendu, où l'on ne dispose pas d'un nombre suffisant de stations de mesure fixes.

Dans le cadre de l'étude BEPoPi, il est techniquement très difficile de pouvoir obtenir des données locales à l'adresse de nombreux patients, sur une longue période. Le recours à la modélisation permet ainsi d'estimer les concentrations de différents polluants auxquels les patients sont exposés.

La modélisation de la dispersion de polluants atmosphériques repose sur la résolution numérique du comportement d'un grand nombre de variables physiques et d'espèces chimiques (équations physiques et chimiques), en essayant de refléter la grande complexité des réactions se produisant dans l'atmosphère. Elle est un outil permettant de répondre à des attentes réglementaires et sanitaires, et sert donc d'études à l'appui pour de nombreux décideurs publics dans l'évaluation environnementale de projets locaux. En effet, sur la base d'indicateurs de suivi représentatifs de la pollution, des planifications réglementaires à court terme ou long terme peuvent être entreprises par les pouvoirs publics, comme les Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA), les études d'impact environnementales et d'évaluation de la qualité de l'air à l'échelle de l'agglomération ou d'un quartier.

Dans le cadre de l'étude BEPoPi, les données journalières de concentrations en polluants (NO₂, O₃, PM10, PM2.5) ont été modélisées pour l'année 2020, sur le territoire des Hauts-de-France, avec en plus des informations sur les adresses des patients de l'agglomération amiénoise inclus dans l'étude.

Une explication détaillée de la démarche se trouve en *Annexe 3*.

4. Contexte sanitaire et environnemental

Cette partie recense des éléments liés à la qualité de l'air permettant d'interpréter les résultats de l'étude et pouvant avoir un impact sur celle-ci, tels que : les émissions, la météorologie et les épisodes de pollution, mais également le contexte sanitaire particulier de l'année 2020.

4.1. Pandémie de COVID-19

Pour l'année 2020, la situation spéciale liée à la pandémie de COVID-19 a pu influencer les émissions et les concentrations de certains polluants dans l'atmosphère, via les confinements successifs qui se sont déroulés cette année-là. Une étude menée par Atmo Hauts-de-France nommée *Qualité de l'air et confinement*¹¹ a permis de mettre en lumière un possible impact des confinements de l'année 2020 sur les émissions et concentrations de polluants dans l'air. Les émissions totales en NO_x ont nettement diminué cette année-là sur le territoire de la Métropole Européenne de Lille. Les concentrations de NO₂ diminuent également en 2020. Les transports, secteur émetteur prépondérant, a contribué de manière importante à la diminution des concentrations et des émissions d'oxydes d'azote sur le territoire de la Métropole Européenne de Lille (MEL).

Les émissions de particules PM10 et PM2.5 diminuent également, cependant de manière moins marquée que pour les NO_x. Ceci peut s'expliquer par la multitude de sources d'émissions de particules. Ici encore, le secteur routier présente la diminution la plus importante de ces émissions. Néanmoins, une hausse des concentrations en NO₂ est visible sur la MEL, en situation urbaine et rurale. Il reste difficile de constater l'effet du confinement sur cette évolution ; l'interprétation des résultats en PM10 est délicate du fait de la multitude de sources d'émissions, associée à des comportements complexes dans l'atmosphère, renvoyant à la formation de particules secondaires, résultant de l'action de précurseurs gazeux sur les particules directement émises par les sources, appelées particules primaires. En outre, le contexte météorologique de cette période a favorisé la formation de particules secondaires (Vents de Nord-Est) ainsi que des masses d'air chargées en polluants.

Enfin, les concentrations en ozone ont augmenté sur l'année 2020, en lien avec des températures douces et un ensoleillement important, favorables à sa formation. Cependant, les conditions météorologiques de l'année 2020 rendent complexes leur interprétation.

La métropole amiénoise a été fortement touchée par cette pandémie Covid, notamment lors de la **première vague**. Comme dans de nombreux autres établissements, l'activité programmée non urgente s'est arrêtée, l'ensemble des soignants se consacrant majoritairement à la prise en charge des patients avec Covid-19. Sur cette même année 2020, on note deux périodes de confinement, la première du 17 mars au 11 mai 2020, la deuxième du 30 octobre au 15 décembre 2020.

Il est important également en prendre en compte le fait que les patients BPCO, patients se sachant porteurs d'une pathologie à risque de forme sévère, se sont auto-confinés un peu avant le confinement officiel, et globalement sont peu sortis entre les 2 périodes de confinement. Ils ont également limité leurs passages à l'hôpital, de peur de s'infecter à l'hôpital. Ces confinements, et cet "auto-confinement" ont limité l'exposition des patients à d'éventuels polluants extérieurs.

¹¹ https://www.atmo-hdf.fr/joomlatools-files/docman-files/Rapport_et_synthese_etudes/2021/Rapport_QA&Conf_MEL2020.pdf

A noter également le port du masque obligatoire dans un certain nombre de lieux à partir de mai 2020. Les masques chirurgicaux filtrent les particules de taille moyenne 3 µm, dans plus de 95% pour le type I et plus de 98% pour le type II. Ils filtrent donc une partie des PM10. Ils ne filtrent pas les PM2.5 ni les PUF. Les masques FFP2 filtrent au moins 94 % des aérosols de taille moyenne 0,6 µm (fuite totale vers l'intérieur < 8 %), et donc filtrent la plupart des PM10 et une partie des PM2.5, mais pas les plus fines des PUF. Aucun de ces masques ne filtre les polluants gazeux (ozone et NO₂). La plupart des patients ont porté des masques chirurgicaux.

4.2. Emissions connues

Les émissions de polluants correspondent aux quantités de polluants directement rejetées dans l'atmosphère :

- par les activités humaines (cheminées d'usine ou de logements, pots d'échappement, agriculture...),
- par des sources naturelles (composés émis par la végétation et les sols, etc.).

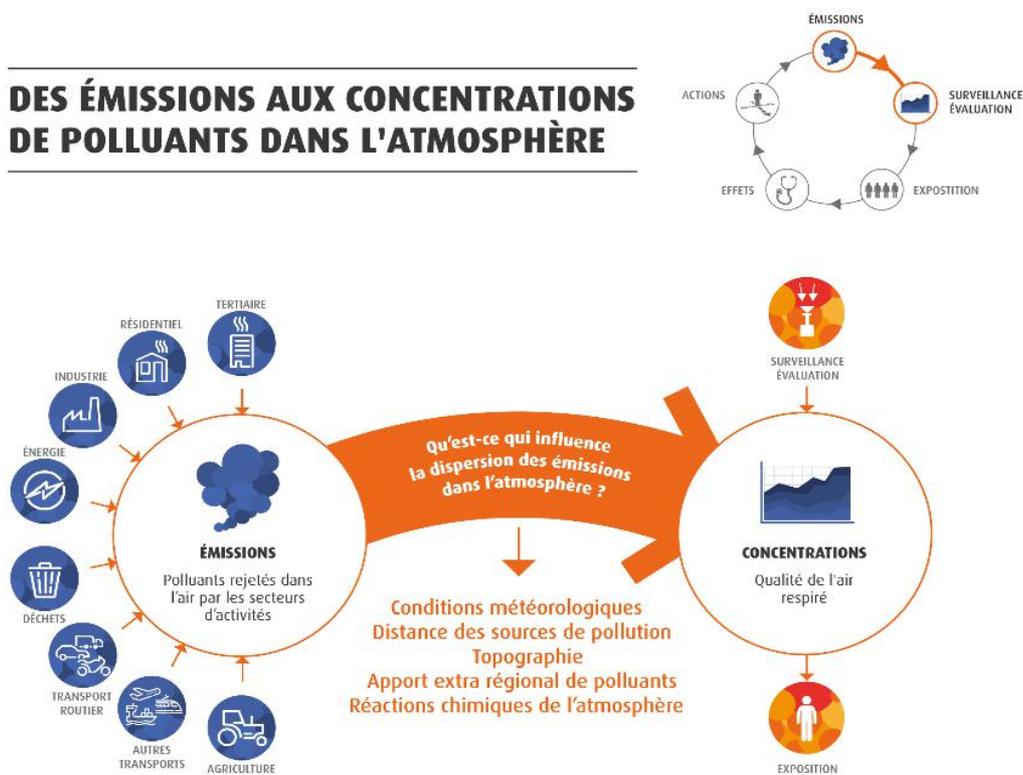


Figure 3 : Schéma de présentation du devenir des polluants dans l'atmosphère

L'inventaire des émissions de polluants consiste à identifier et recenser la quantité des polluants émis par secteur d'activité, sur une zone et une période donnée.

4.2.1. Précisions sur les principaux émetteurs anthropiques de la zone d'études

Les données utilisées et présentées dans les graphes suivants sont issues de l'inventaire des émissions de l'année 2015, réalisé par Atmo Hauts-de-France, selon la méthodologie définie en 2015 (source Base_A2015_M2017_V6). Elles sont présentées à l'échelle de la **Communauté d'Agglomération d'Amiens Métropole**.

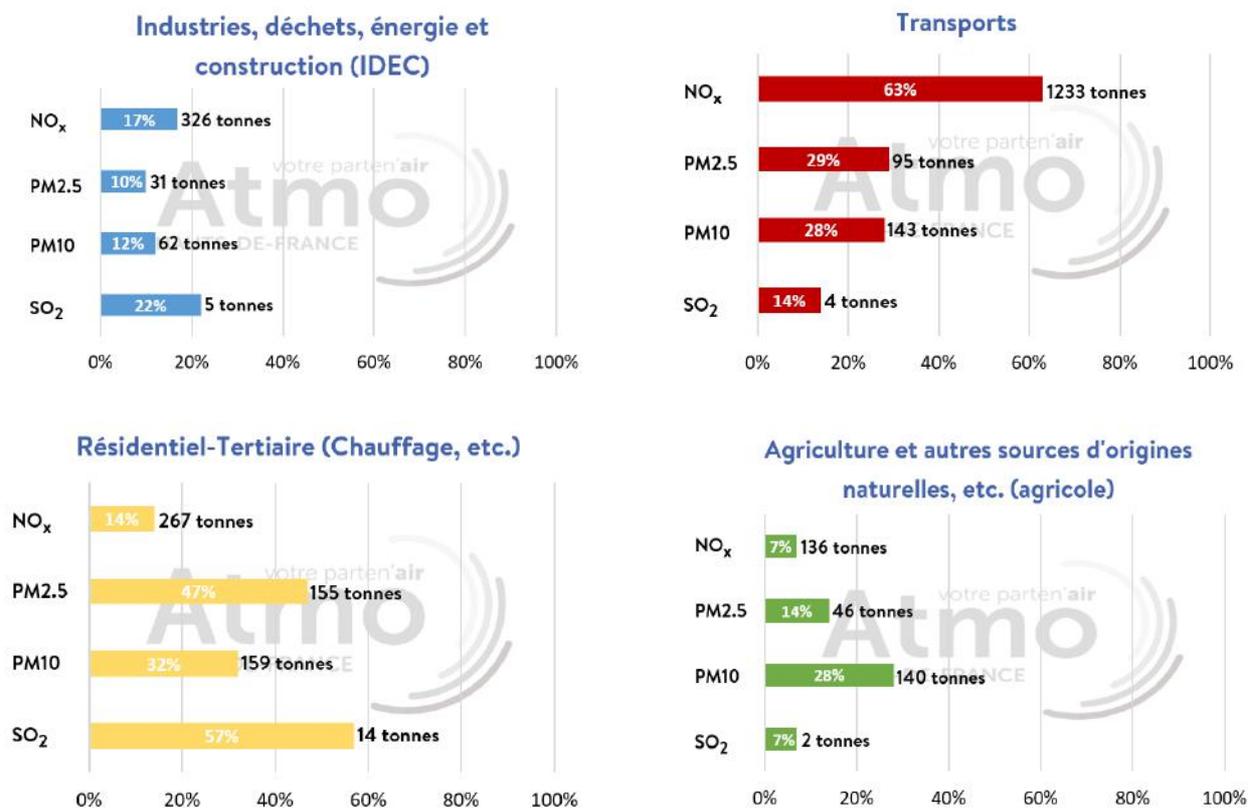


Figure 4 : Emissions des polluants de l'étude issues des différents secteurs d'activités, sur le territoire d'Amiens Métropole (inventaire des émissions d'Atmo Hauts-de-France – source Base_A2015_M2017_V6)

Les secteurs représentés sont :

- Le secteur **industriel** comprenant les émissions issues de l'extraction, la transformation et la distribution d'énergie ainsi que celles issues de l'industrie manufacturière, le traitement des déchets et la construction.
- Le secteur des **transports** comprenant les émissions du transport routier et des modes de transport autres que routier.
- Le secteur **résidentiel tertiaire** comprenant les émissions issues des secteurs résidentiel, tertiaire, commercial et institutionnel.
- Le secteur **agricole et « autres »** comprenant principalement les émissions agricoles et biogéniques.

Sur le territoire de la Communauté d'Agglomération d'Amiens Métropole, **les transports** constituent le premier secteur émetteur **d'oxydes d'azote (NO_x)**, de l'ordre de **63%** (Cf. Figure 4).

Le secteur **résidentiel-tertiaire**, notamment via l'utilisation du chauffage, joue un rôle important puisqu'il est le premier émetteur de particules PM_{2.5}, de PM₁₀ et de SO₂. Il est à l'origine de **47%** des émissions de PM_{2.5}, **57%** du dioxyde de soufre (SO₂), **32%** des particules PM₁₀ et **14%** des NO_x.

Les secteurs **agricoles** et **IDEC** comptabilisent des émissions moins importantes comparées aux deux autres secteurs. On peut toutefois noter que le secteur agricole est le second émetteur de PM10, de l'ordre de 28% (tout comme le secteur des transports), et l'IDEC est second émetteur de SO₂, soit 22%.

Le pourcentage est exprimé par rapport au total des émissions de la Communauté d'agglomération d'Amiens. Les fiches en Annexe 5 sont réalisées sur un découpage ciblant les six principaux secteurs SECTEN définis par le CITEPA. Pour en savoir plus voir <http://www.atmo-hdf.fr/accéder-aux-donnees/emissions-de-polluants.html>.

4.2.2. Localisation des principaux émetteurs anthropiques de la zone d'étude

La carte ci-dessous précise les principaux émetteurs pouvant influencer la qualité de l'air locale à l'échelle de la Communauté d'Agglomération d'Amiens Métropole.

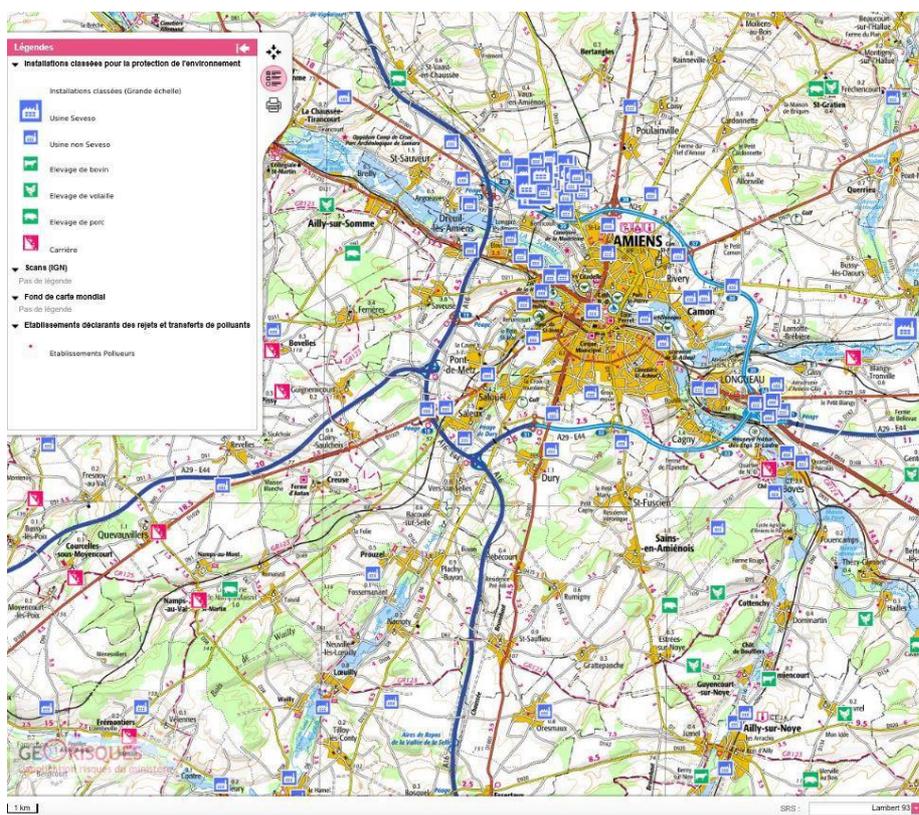


Figure 5 : Carte des principaux émetteurs sur l'agglomération d'Amiens

Le registre des émissions polluantes¹² ne met pas en évidence d'émetteurs spécifiques de NOx, poussières en suspension PM10 et particules fines PM2.5 sur l'agglomération d'Amiens Métropole, pour l'année 2019.

¹² <http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/irep-registre-des-emissions-polluantes>

4.3. Contexte météorologique



Le contexte météorologique peut avoir un impact sur les conditions de dispersion de la pollution atmosphérique.

Certains paramètres favorisent la dispersion (par exemple les vents forts) et/ou le lessivage des polluants, d'autres au contraire vont favoriser leur accumulation (hautes pressions, inversion de température, stabilité atmosphérique), ou leur formation (comme l'ensoleillement).

Pour une campagne de mesures de la qualité de l'air ambiant, il est donc important d'étudier les conditions météorologiques dans lesquelles les mesures des polluants ont été effectuées.

Le graphe suivant représente la rose des vents issue de la station Météo France d'Amiens-Glisy pour l'année 2020.

66

Guide de lecture des roses de vents

- Les pétales se placent en fonction des directions de vents (d'où vient le vent),
- La fréquence des vents est indiquée en pourcentage par les cercles concentriques,
- Les couleurs indiquent les vitesses de vents, le jaune étant significatif de vents forts,

Les vents dont la vitesse est inférieure à 1 m/s ne sont pas représentés car ils ne sont pas significatifs.

99

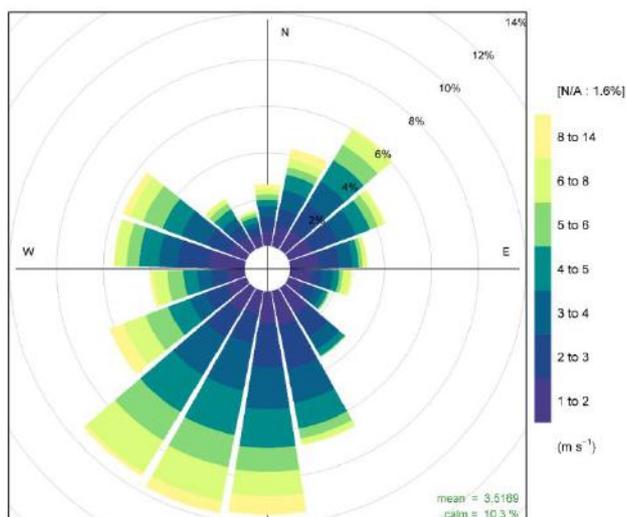


Figure 6 : Rose des vents d'Amiens-Glisy [1er janvier 2020 au 31 décembre 2020]

Les vents dominants relevés par la station d'Amiens-Glisy sur l'année 2020 ont été majoritairement de secteur Sud à Sud-Ouest. Des dominances moins marquées sont néanmoins visibles du Nord-Est, Nord-Ouest ainsi que Sud-Est.

Les vitesses de vent ont été modérées sur la période, avec une moyenne de 4 m/s sur l'année 2020.

4.4. Episodes de pollution



Un épisode de pollution correspond à une période, où les concentrations de polluants dans l'atmosphère ne respectent pas ou risquent de ne pas respecter les seuils réglementaires (seuil d'information/recommandation et seuil d'alerte) et selon des critères prédéfinis (pourcentage de surface de la zone ou pourcentage de population impactés, niveau réglementaire franchi, durée de l'épisode, ...).

Quatre polluants sont intégrés dans la procédure de déclenchement d'épisode de pollution de l'air : l'ozone (O₃), le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂) et les particules en suspension (PM10).

Afin de définir les épisodes de pollution, deux niveaux réglementaires y sont associés : le niveau d'information et de recommandation et le niveau d'alerte, dont les définitions sont précisées en Annexe 6.

Facteurs favorisant la formation des épisodes de pollution

Pour atteindre des niveaux élevés de concentration conditionnant le déclenchement des épisodes de pollution, les critères à réunir sont multiples et varient selon les périodes de l'année. La combinaison de plusieurs des éléments suivants est souvent à l'origine des épisodes :

- mauvaises conditions de dispersion,
- conditions favorables aux transformations chimiques,
- transport transfrontalier ou interrégional de polluants,
- émissions de polluants en région,
- actions de précurseurs du polluant.

La frise ci-dessous reprend l'ensemble des épisodes de pollution ayant été constatés en 2020 sur les départements de la région Hauts-de-France.

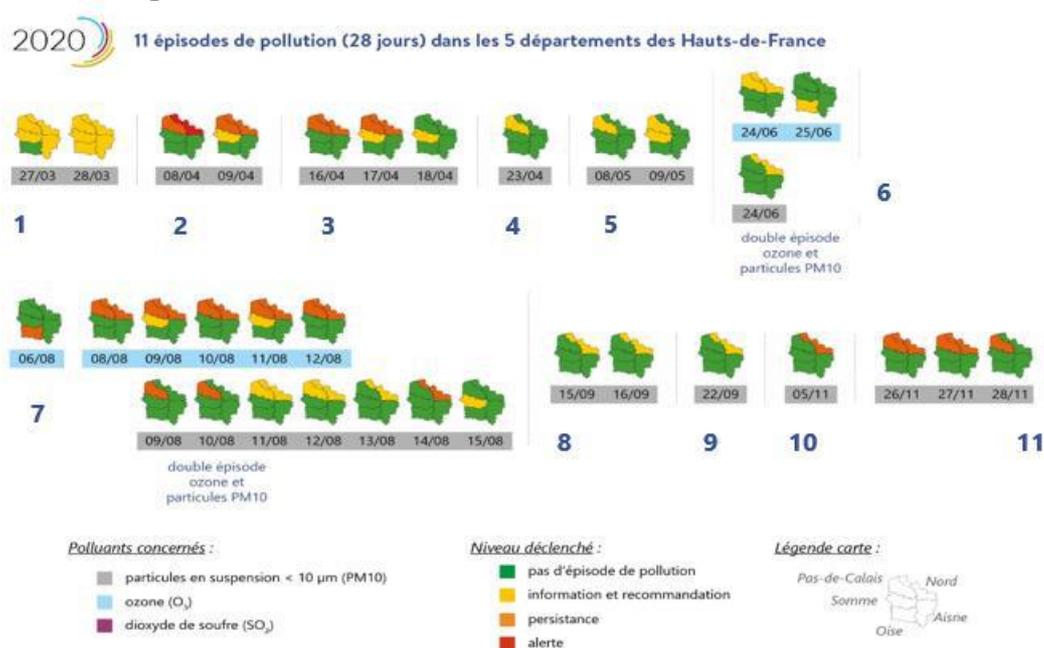


Figure 7 : Bilan des épisodes de pollution atmosphérique en région Hauts-de-France en 2020

Le nombre d'épisodes de pollution en Hauts-de-France en 2020 a fortement diminué avec **11 épisodes** (28 jours) contre 23 épisodes (51 jours) pendant l'année 2019. Durant cette année a été enregistré, à deux reprises, un double épisode de pollution à l'ozone et aux particules PM10 en juin et en août.

La majorité des épisodes de pollution est due aux concentrations en **particules PM10**, soit 20 jours. L'ozone comptabilise 2 épisodes de pollution de 5 jours couplés aux particules PM10 et de 3 jours seuls.

Contrairement à l'année 2019, aucun épisode de pollution n'est lié au dioxyde de soufre et comme pour les années précédentes, aucun épisode au dioxyde d'azote n'a été détecté.

Le département de la Somme¹³ est concerné par **5 épisodes de pollution** sur les 11 épisodes recensés sur la région Hauts-de-France en 2020.

L'épisode le plus important de l'année dans la Somme s'est déroulé durant la période estivale, décrivant un épisode de pollution en ozone les 09 et 11 août et en particules PM10 le 15 août. Durant cette période, le département est passé au seuil d'information et de recommandation. Aucun niveau de persistance ou d'alerte n'a été déclenché sur la Somme au cours de l'année 2020.

- Durant le 1^{er} trimestre de l'année 2020 est recensé un épisode de pollution : **2 jours** en NIR les 27 et 28 mars
- Durant le 2^{ème} trimestre sont recensés trois épisodes en NIR : **1 jour** le 9 avril, **2 jours** les 17 et 18 avril et **1 jour** le 9 mai
- Durant le 3^{ème} trimestre est recensé un épisode dans lequel la Somme est touchée **3 jours** en NIR les 09, 11 et 15 août.



Figure 8 : Bilan des épisodes de pollution atmosphérique sur la Somme en 2020

Aucun épisode de pollution n'a touché la Somme durant le dernier trimestre.

¹³<https://atmo-hdf.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=30e618cb22854d958b80ecfe6dfe99d7>

5. Quels liens existent entre pollution de l'air et BPCO ?

En complément des polluants surveillés classiquement dans l'air (PM10, PM2.5, NO₂ et O₃), il sera abordé dans le cadre de BEPoPi la surveillance de polluants spécifiques au territoire de l'étude : les **pollens**, les **nuisances olfactives**, les **particules ultrafines**, **35 métaux** présents dans les PM10 et enfin le **Black Carbon**.

5.1. Population incluse

Entre le 1er janvier et le 31 décembre 2020, **deux cent soixante-huit** (268) consultations aux urgences (CHU Amiens-Picardie et Clinique de l'Europe) ont été enregistrées pour exacerbations de BPCO.

Après relecture de chaque dossier, ont été exclus a posteriori les patients présentant une cause évidente d'exacerbation de BPCO. Au total, cent quatre-vingt (180) consultations aux urgences ont été conservées dans l'analyse, correspondant à cent dix (110) patients (un même patient pouvant être inclus plusieurs fois).

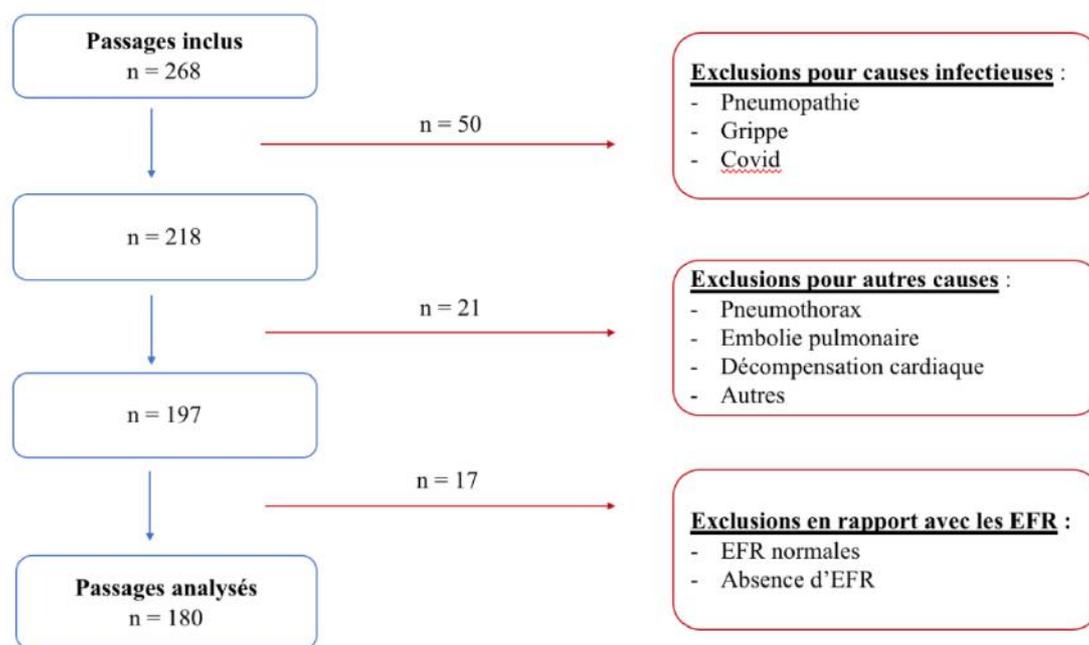


Figure 9 : Diagramme de flux de l'étude

Parmi les 110 patients inclus, 24,5% étaient des femmes (n=27) et 75,5% des hommes (n=83). L'âge moyen de la population était de 67,1 ans (\pm 10,7 ans). Parmi les patients, 3,6% ne présentaient pas de tabagisme (n=4), 36,4% un tabagisme actif (n=40) et 60% un tabagisme sevré (n=66). On retrouvait des allergies chez 26,4% des patients (n= 29). Pour ce qui est de l'activité professionnelle, seul 9,1% des patients étaient concernés (n= 10). Le lieu de travail de ces patients se situait dans la même zone que le lieu d'habitation permettant (excepté pour les patients chauffeurs routiers dont le lieu de travail n'est pas fixe) de connaître le lieu exact où les patients ont pu être exposés aux différents polluants. Concernant les stades de la BPCO (cf. *Glossaire*), la majorité d'entre eux présentaient une BPCO de stade II : 35,2% (n=38) et de stade IV : 35,2% (n=38). Avec la classification plus récente (Cf. Annexe 8), on retrouvait majoritairement des BPCO de stade A : 38,5% (n=42) et de stade D : 33% (n=36). Les patients présentaient un suivi pneumologique régulier pour 82,7% d'entre eux (n=91).

Parmi les 180 passages analysés, 91,1% ont eu lieu aux urgences du CHU Amiens-Picardie (n=164) et 8,9% aux urgences de la Clinique de l'Europe (n=16). Cependant, bien plus de patients sont suivis à la Clinique de l'Europe, mais lors des épisodes d'exacerbations ils préfèrent consulter de façon générale au CHU Amiens-Picardie. La majorité des passages a abouti à une hospitalisation 81,1% (n=146) contre 18,9% de retours à domicile (n=34). Trente-quatre consultations ont nécessité une hospitalisation en milieu de soins continus ou réanimation, témoignant de la potentielle gravité des épisodes d'exacerbation, et 11 patients sont décédés.

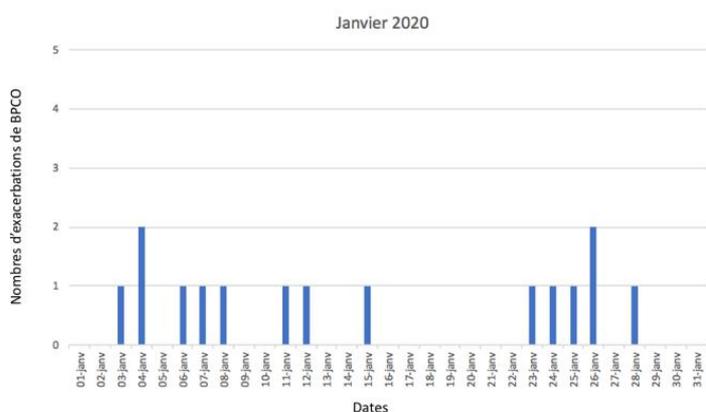
Parmi les 180 passages, le CHU Amiens-Picardie a effectué un décompte du nombre de passages par patient, permettant ainsi de repérer les patients exacerbateurs fréquents (plus de 2 exacerbations) qui sont au nombre de 14. Ces patients exacerbateurs fréquents étaient pour la majeure partie d'entre eux les mêmes que ceux de l'étude PolluBPCO.

Il s'agissait le plus souvent de patients sous oxygénothérapie ou VNI (Ventilation Non Invasive), peu compliants, poursuivant leur intoxication tabagique.

Aucun d'entre eux n'avait d'activité professionnelle, éliminant donc toute exposition en rapport avec l'environnement de travail.

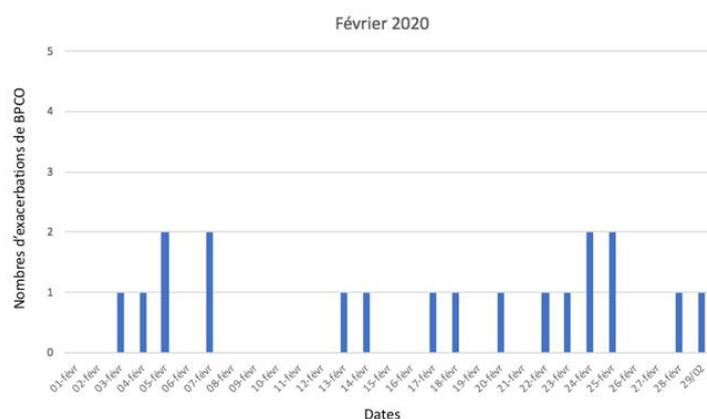
Le nombre **moyen de consultations** aux urgences pour exacerbation de BPCO était de **0,5 patient par jour**. Ce nombre est plus petit que celui de PolluBPCO qui était de 0,65 patient par jour et qui avait permis de définir un pic de consultations aux urgences comme étant une augmentation de 6 patients ou plus sur 3 jours. Cependant, cette définition de « pic » d'exacerbations a été conservée, afin de pouvoir comparer les résultats des deux études.

Pour chaque mois de l'année 2020, le nombre de consultations quotidiennes aux urgences, pour exacerbation de BPCO, est représenté graphiquement. Cette représentation permet de mettre en évidence plus facilement les pics de consultations.



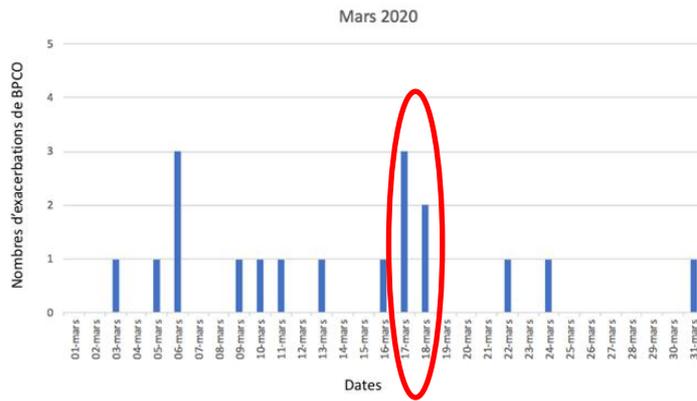
Janvier :

- 15 passages
- aucun pic de consultation pour exacerbation de BPCO



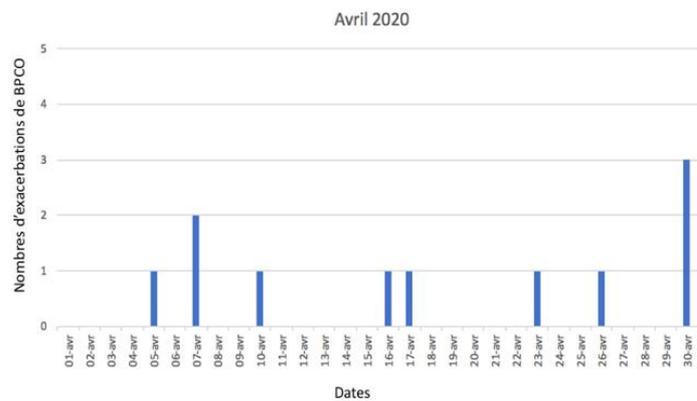
Février :

- 19 passages
- aucun pic de consultation pour exacerbation de BPCO



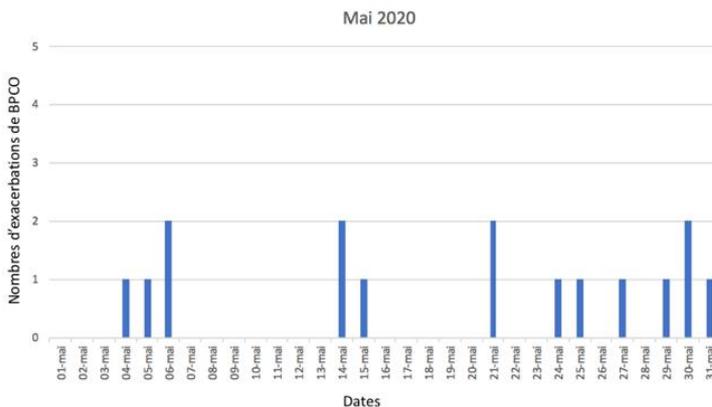
Mars :

- 18 passages (confinement à compter du 17 mars 2020)
- 1 pic de consultations pour exacerbation de BPCO



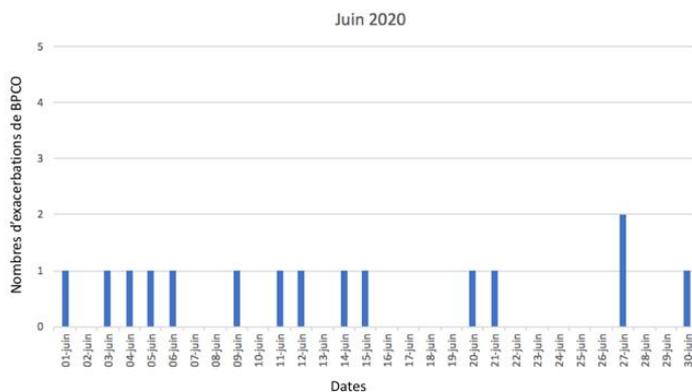
Avril :

- 11 passages (confinement)
- aucun pic de consultation pour exacerbation de BPCO



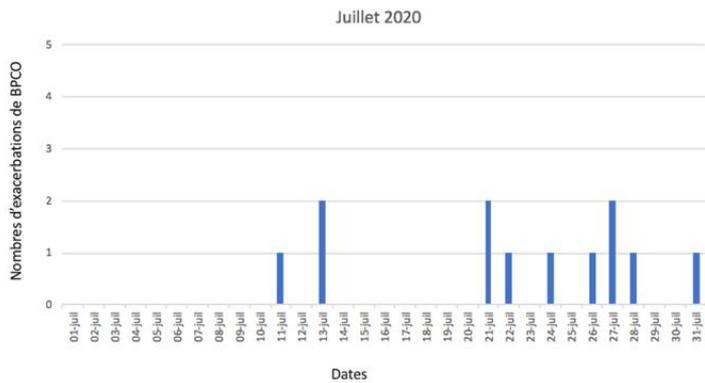
Mai :

- 16 passages (confinement jusqu'au 11 mai 2020)
- aucun pic de consultation pour exacerbation de BPCO



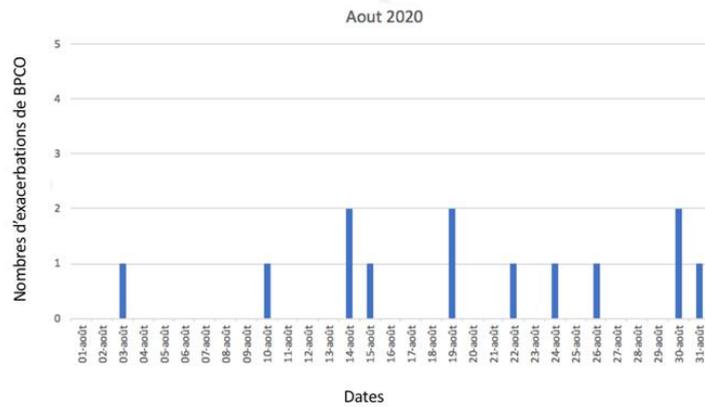
Juin :

- 15 passages
- aucun pic de consultation pour exacerbation de BPCO



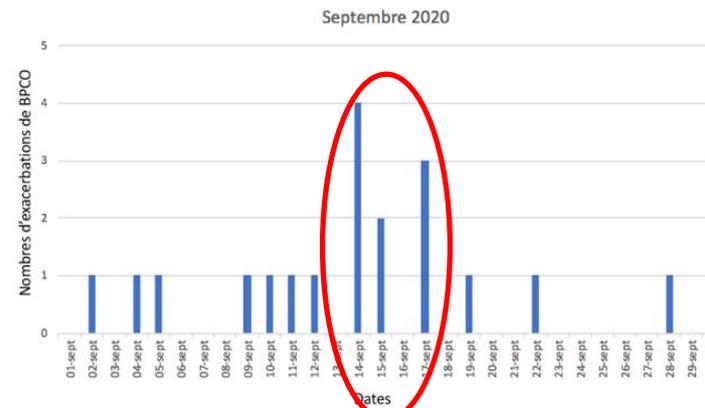
Juillet :

- 12 passages
- aucun pic de consultation pour exacerbation de BPCO



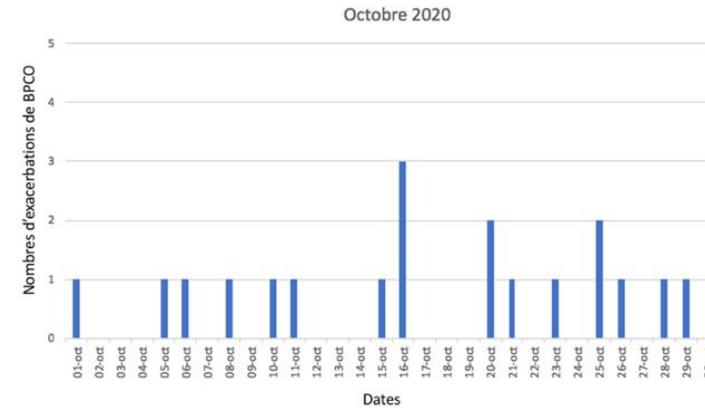
Août :

- 13 passages
- aucun pic de consultation pour exacerbation de BPCO



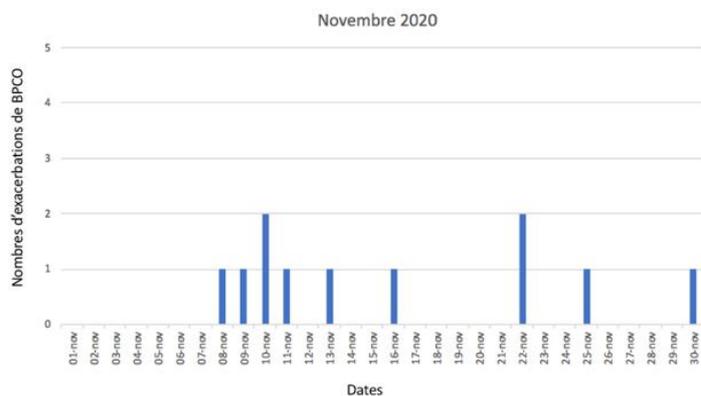
Septembre :

- 22 passages
- 1 pic de consultations pour exacerbation de BPCO (du 14 au 17 septembre 2020)



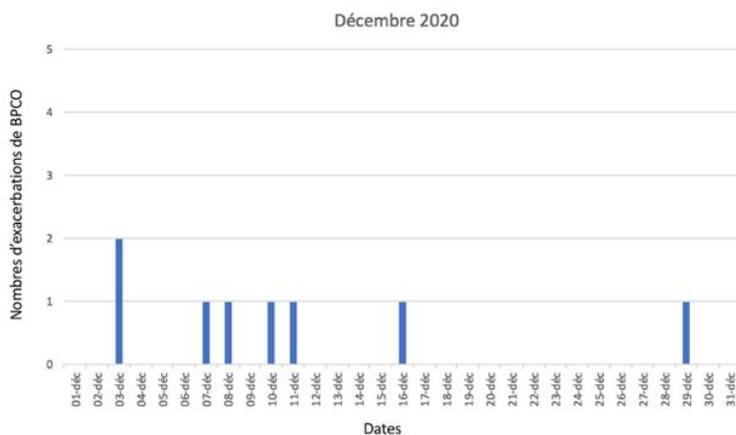
Octobre :

- 20 passages
- aucun pic de consultation pour exacerbation de BPCO



Novembre :

- 11 passages (confinement qui a débuté le 30 octobre 2020)
- aucun pic de consultation pour exacerbation de BPCO



Décembre :

- 8 passages (confinement)
- aucun pic de consultation pour exacerbation de BPCO

Sur l'année 2020, **deux pics** de consultation ont été mis en évidence. Ils ont eu lieu en **mars** (6 sur 3 jours), juste après les annonces gouvernementales, et en **septembre** (9 en 4 jours, dont 6 sur 2 jours).

On remarque que les périodes de confinements correspondent à celles enregistrant le moins de passages aux urgences pour exacerbation de BPCO.

5.2. Bilan métrologique

Les données délivrées par le dispositif de mesures des polluants atmosphériques sont systématiquement validées puis agrégées afin de calculer des paramètres statistiques comparables à la réglementation en vigueur et interpréter rigoureusement la qualité de l'air sur la zone d'étude concernée.

La validation prend en compte la justesse de la mesure effectuée en contrôlant la dérive de l'appareil. Une fois les données validées, un **taux de fonctionnement** est calculé pour chaque paramètre mesuré. Il s'agit du pourcentage de données valides d'un appareil de mesures, sur une période définie (année civile, phase de mesures, semaine...).

Un taux de fonctionnement **inférieur à 85%** signifie que la concentration moyenne du polluant n'est pas représentative sur le temps d'exposition. Aucune comparaison avec les valeurs réglementaires du polluant pour l'année de l'étude n'est alors possible.

Paramètres	NO ₂	O ₃	PM10	PM2.5	Métaux	PUF	BC
Pourcentage de données valides du 1 ^{er} janvier au 31 décembre 2020	Salouël : 84% Amiens St-Pierre : 93%	Salouël : 97% Amiens St-Pierre : 99%	Salouël : 93% Amiens St-Pierre : 81%	Amiens 14 juillet : 98%	Amiens St-Pierre : 92%	Amiens St-Pierre : 90%	Amiens St-Pierre : 88%

Tableau 3 : Taux de fonctionnement des appareils de mesures par polluant

Le pourcentage de données valides des appareils de mesure d'O₃ et de PM2.5 sur l'agglomération amiénoise est supérieur aux 85% préconisés par la Directive 2008/50/CE (en tenant compte du temps de maintenance des appareils). Il l'est également pour le cas des Métaux, des PUF et du Black Carbon. Cependant, il est inférieur pour les appareils de mesure de NO₂ à la station de Salouël et de PM10 à la station d'Amiens Saint-Pierre. Les statistiques pour ces deux cas ne sont donc pas exploitables dans le cadre réglementaire. Néanmoins, leurs résultats (en gris) sont donnés à titre informatif.

5.3. Interprétation des mesures d'air ambiant

5.3.1. Le dioxyde d'azote (NO₂)

☐ Concentrations moyennes sur l'année

Site de mesures		Dioxyde d'azote (NO ₂)				
		Concentration moyenne (µg/m ³)	Percentile horaire 99,8 (µg/m ³)	Valeur horaire maximale (µg/m ³)	Nombre d'heures où la moyenne horaire a été supérieure à 200 µg/m ³	Valeur journalière maximale (µg/m ³)
Année 2020	Salouël (périurbaine)	9	43	57	0	29
	Amiens St-Pierre (urbaine)	12	59	79.9 le 15/01 à 19h	0	34.5 le 20/01/2020
Valeurs réglementaires		40 (valeur limite)	200 à ne pas dépasser plus de 18 heures par an (valeur limite)			-

Tableau 4 : Bilan en dioxyde d'azote (NO₂) sur les stations de l'agglomération amiénoise

☑ Valeurs réglementaires respectées à la station d'Amiens Saint-Pierre pour le dioxyde d'azote (NO₂) au cours de l'année 2020

Avis et interprétation :

Sur l'année 2020, au regard des résultats obtenus, toutes les valeurs réglementaires concernant le dioxyde d'azote NO₂ à la station d'Amiens Saint-Pierre ont été respectées.

☐ Cartographie des concentrations en NO₂ sur le territoire

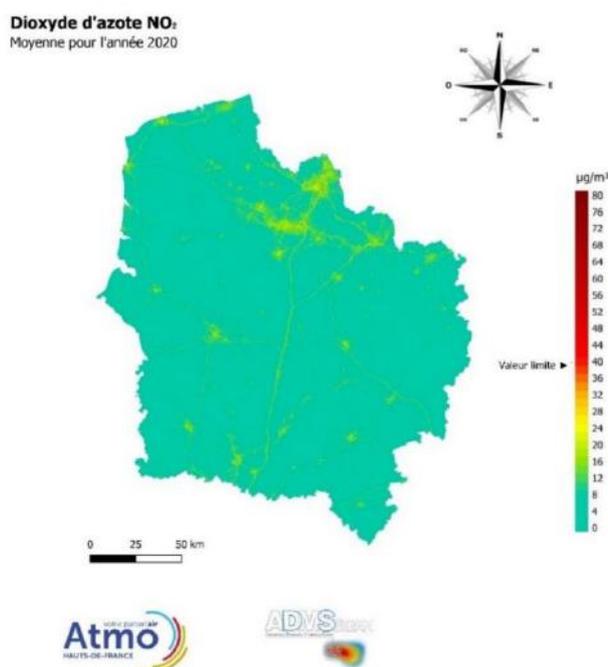


Figure 10 : Modélisation des concentrations en NO₂ sur le territoire en 2020

La modélisation des concentrations de **NO₂** (7 µg/m³ en moyenne annuelle) met en avant l'influence du **trafic automobile**, des **centres urbains**, et dans une moindre mesure de certains **sites industriels**. Comparés à 2019, les niveaux sont moins élevés (-4 µg/m³ en moyenne). Les concentrations minimales en 2020 sont de 4 µg/m³. En 2020, la **valeur limite** fixée à **40 µg/m³** n'est dépassée que ponctuellement, autour des **principaux axes routiers** et est respectée sur le reste des Hauts-de-France.

En région, moins de 60 habitants sont exposés à un dépassement de la valeur limite en NO₂ (40 µg/m³), pour une superficie totale de 2 km², à des niveaux d'au maximum 54 µg/m³.

Evolution journalière des concentrations en NO₂

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la moyenne journalière de la concentration en NO₂ au cours de l'année 2020, au regard du nombre de patients inclus par les services d'urgences du CHU Amiens-Picardie et de la Clinique de l'Europe.

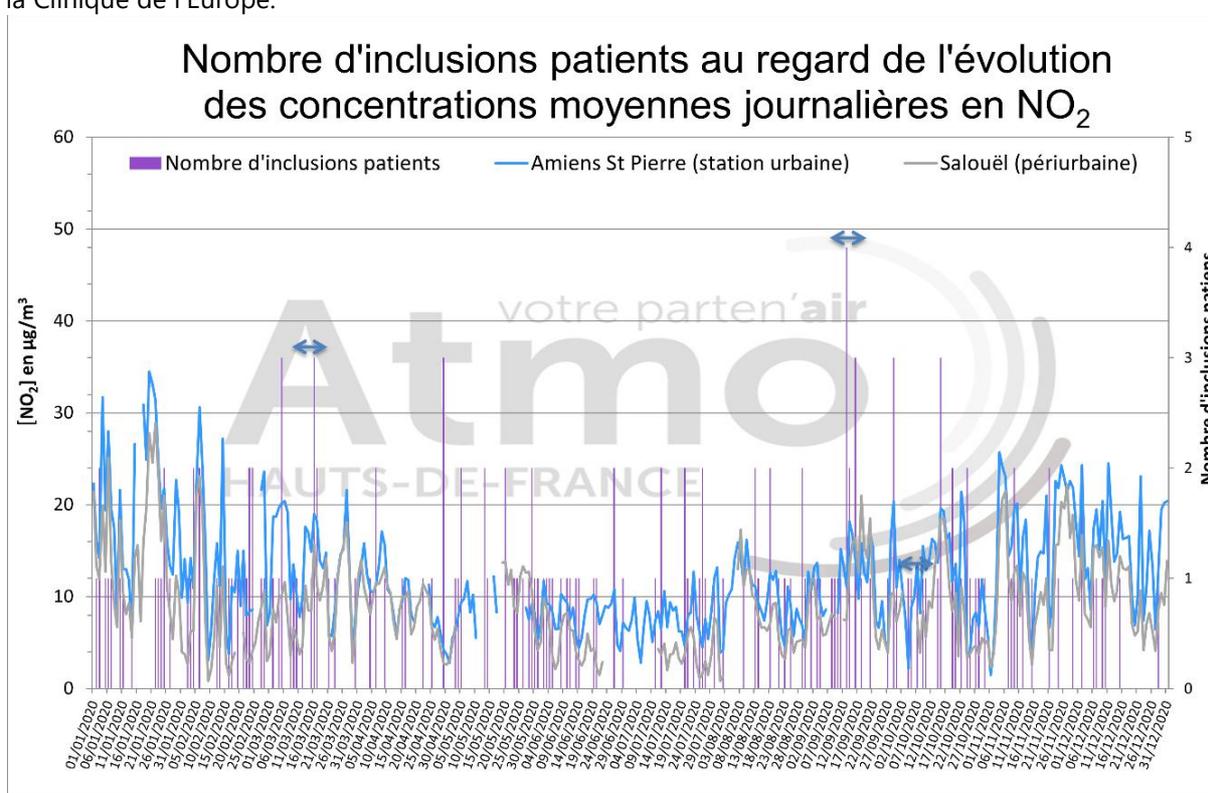


Figure 11 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des concentrations moyennes journalières en NO₂ sur l'année 2020

Les flèches bleues indiquent les périodes de pic d'exacerbation de la maladie sur l'année 2020

En 2020, la moyenne annuelle du NO₂ à la station de Salouël était de **12 µg/m³**. Ainsi, aucun dépassement de la valeur limite ni d'épisode de pollution au dioxyde d'azote n'est enregistré cette année.

□ Corrélation entre les inclusions de patients et les données moyennes journalières en NO₂

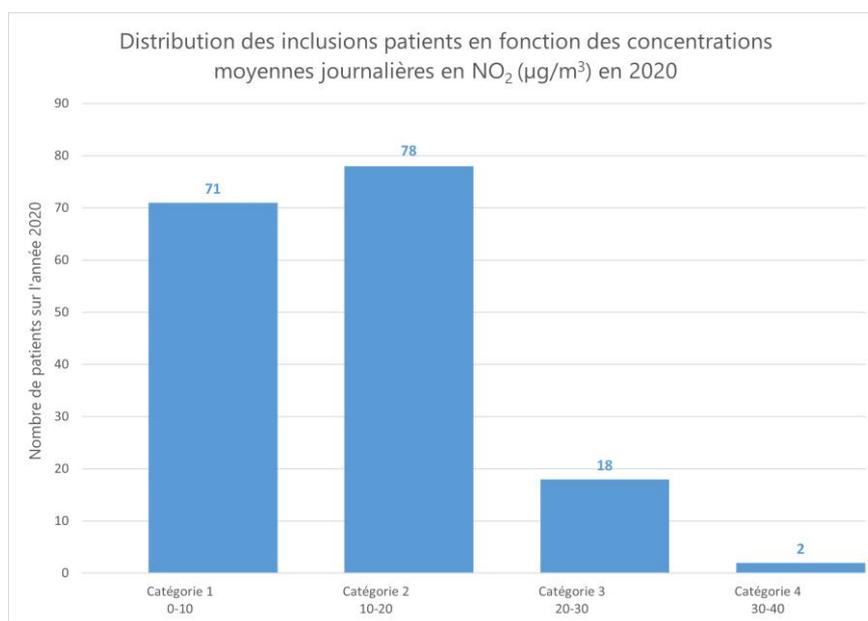


Figure 12 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes journalières en NO₂

Le graphique ci-dessus présente le nombre d'inclusions patients en fonction des concentrations moyennes journalières en NO₂. Pour ce faire, les concentrations de l'année 2020 ont été classées en 4 catégories. Ainsi en 2020, la majorité des inclusions patients ont eu lieu lorsque les concentrations extérieures étaient inférieures à 20 µg/m³, soit au total 149 patients. A contrario, peu de patients ont été inclus pour des concentrations plus élevées (seulement 2 pour des concentrations extérieures entre 30 et 40 µg/m³).

Le graphique ci-dessous présente la corrélation entre le nombre d'inclusions patients et les concentrations moyennes en NO₂ sur l'année 2020. Afin de déterminer l'importance de la corrélation entre ces deux variables, une méthode statistique permet de calculer un coefficient de détermination, le **R²** (Cf. *Glossaire*).

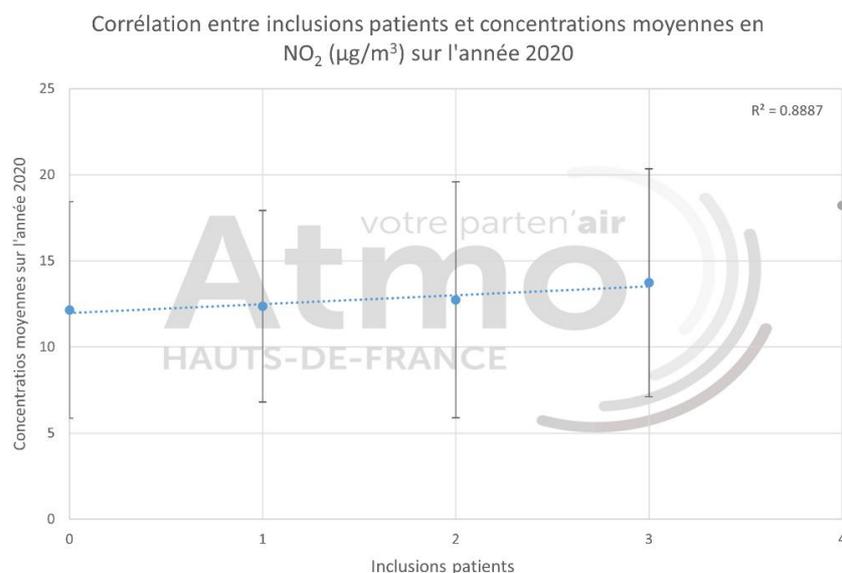


Figure 13 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en NO₂ en 2020¹⁴

¹⁴ La corrélation entre les concentrations en NO₂ et les jours incluant 4 patients (point gris) a été ajoutée à titre indicatif. Le nombre de jours ou l'inclusions est de 4 patients étant faible, la corrélation statistique ne pouvait être faite.

Ainsi, il permet de dégager un lien entre ces deux variables : une augmentation des concentrations moyennes journalières peut engendrer une hausse des inclusions journalières de patients, visible au regard de la courbe linéaire. Le **coefficient de détermination (R^2)** calculé pour des inclusions allant de 0 à 3 patients montre une corrélation forte entre les inclusions patients et les concentrations en NO_2 , supérieure à **0.85**, au regard de la courbe linéaire. Néanmoins, il est nécessaire d'ajouter qu'il existe différents paramètres pouvant influencer cette corrélation, notamment les températures ambiantes. De plus, du fait d'un nombre faible de jours avec 4 ou 5 inclusions, la marge d'erreur n'est pas calculable pour ces deux cas. La valeur pour 4 inclusions (point gris) a été ajoutée de manière indicative.

Enfin, les barres d'écart-type permettent de montrer une faible amplitude des concentrations en fonction des inclusions patients, justifiant d'une faible corrélation positive entre ces deux variables d'intérêt.

Traitement statistique

Sur l'année d'étude, **il n'y a pas de lien significatif** entre les concentrations en dioxyde d'azote (**$p = 0,2608$**) et le nombre de consultations aux urgences pour exacerbations de BPCO, même s'il existe une tendance en faveur d'un lien. Lorsqu'on se focalise sur la période "**pré premier confinement**" entre le **01/01/2020** et le **16/03/2020**, on retrouve un lien significatif entre NO_2 et consultations aux urgences pour exacerbation, avec un **$p=0,05$** , de manière indépendante des mesures d'ozone, des mesures de PUF et de Black Carbon. En raison d'un nombre important de polluants étudiés et de la colinéarité de certaines de ces molécules, les résultats ont été ajustés sur ces 3 types de polluants.

Il n'a pas été mis en évidence de corrélation graphique entre les pics d'exacerbations de BPCO et les variations du NO_2 au regard des moyennes annuelles de la station d'Amiens Saint-Pierre.

Le graphique de corrélation semble mettre en lumière un lien entre hausse des concentrations en NO_2 et hausse des inclusions de patients.

Sur le plan statistique, les résultats montrent bien une corrélation significative, lorsque le NO_2 est traité indépendamment des autres polluants, et ce pour la période de pré-confinement (du 1^{er} janvier au 16 mars 2020 inclus).

5.3.2. L'ozone (O₃)

☐ Concentrations moyennes sur l'année

Site de mesures		Ozone (O ₃)	
		Concentration moyenne (µg/m ³)	Moyenne maximale sur 8 heures glissantes (µg/m ³)
Année 2020	Salouël (périurbaine)	47	147 le 08/05 à 21h
	Amiens St-Pierre (urbaine)	47	141 le 11/08 à 20h
Valeurs réglementaires		-	120 à ne pas dépasser en moyenne journalière sur 8 heures glissantes (objectif de qualité, à long terme pour la protection de la santé)

Tableau 5 : Bilan en ozone (O₃) sur les stations de l'agglomération amiénoise en 2020

Avis et interprétation :

Sur l'année 2020, au regard des résultats obtenus, l'objectif à long terme pour la protection de la santé n'a pas été respecté pour l'O₃ sur les stations de l'agglomération d'Amiens.

Valeurs réglementaires non respectées sur le territoire d'Amiens Métropole pour l'ozone O₃ au cours de l'année 2020

☐ Cartographie des concentrations en O₃ sur le territoire

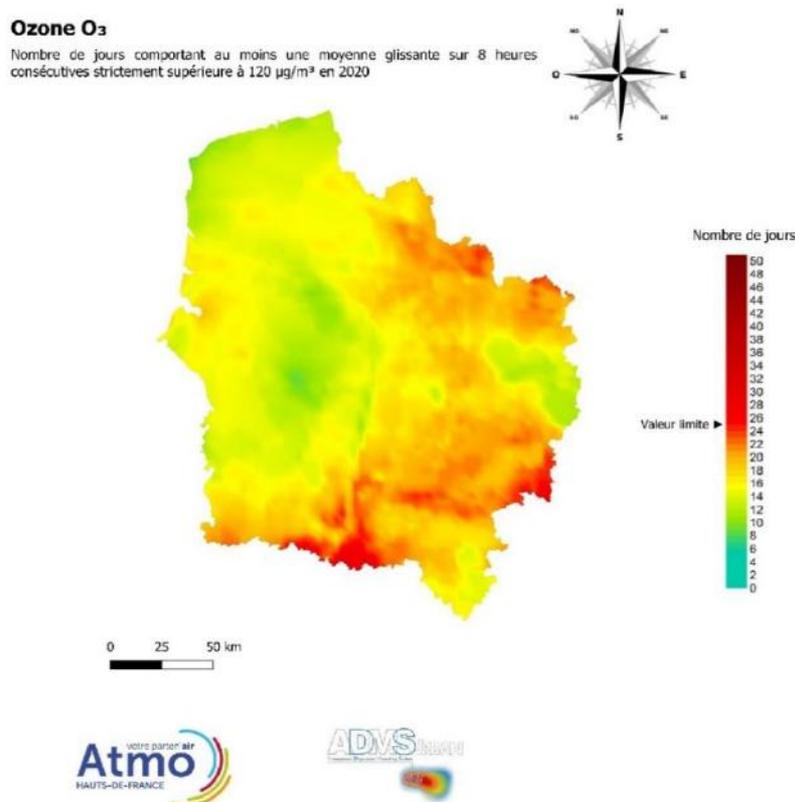


Figure 14 : Modélisation des concentrations en O₃ sur le territoire en 2020

En 2020, cette carte montre que le nombre de jours de dépassement de l’ozone est plus important à **l’est de la région**. Les valeurs maximales se trouvent dans l’**Oise** principalement au sud de Creil et de Senlis (28 jours), dans l’Aisne, à l’est de Laon (27 jours) et dans une moindre mesure au nord de Valenciennes et de Maubeuge (24 jours). Les valeurs minimales se retrouvent près d’**Amiens** (8 jours) et sur le littoral de la Manche/Mer du Nord entre Dunkerque et Boulogne (10 jours). Les valeurs en 2020 sont supérieures à celles rencontrées en 2019 (+ 3 jours).

Evolution journalière des concentrations en O₃

Le graphique ci-dessous montre l’évolution de la moyenne journalière de la concentration en O₃ au cours de l’année 2020, au regard du nombre de patients inclus par les services d’urgences du CHU Amiens-Picardie et de la Clinique de l’Europe.

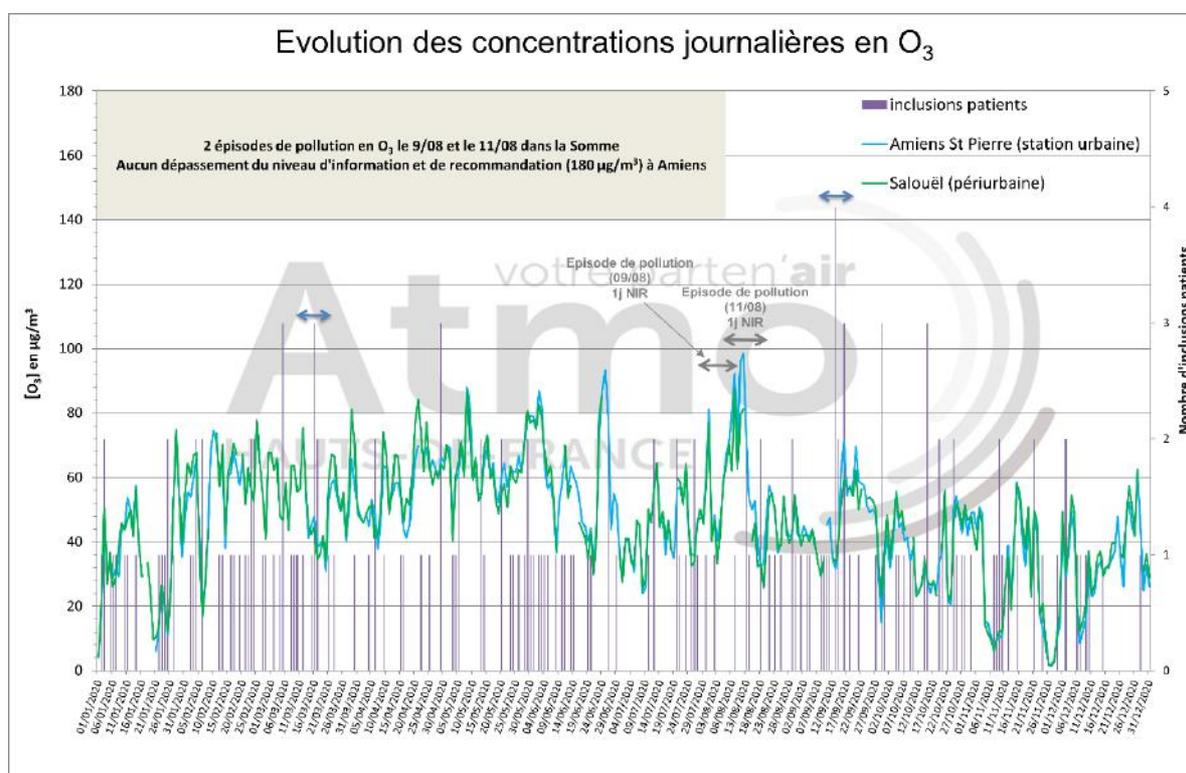


Figure 15 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des concentrations moyennes journalières en O₃ sur l'année 2020

Les flèches bleues indiquent les périodes de pic d'exacerbation de la maladie sur l'année 2020

La Somme enregistre deux épisodes de pollution en ozone à durant la période estivale, les 09 et 11 août. Ces épisodes ne touchent pas la métropole amiénoise.

☐ Corrélation entre les inclusions de patients et les données moyennes journalières en O₃

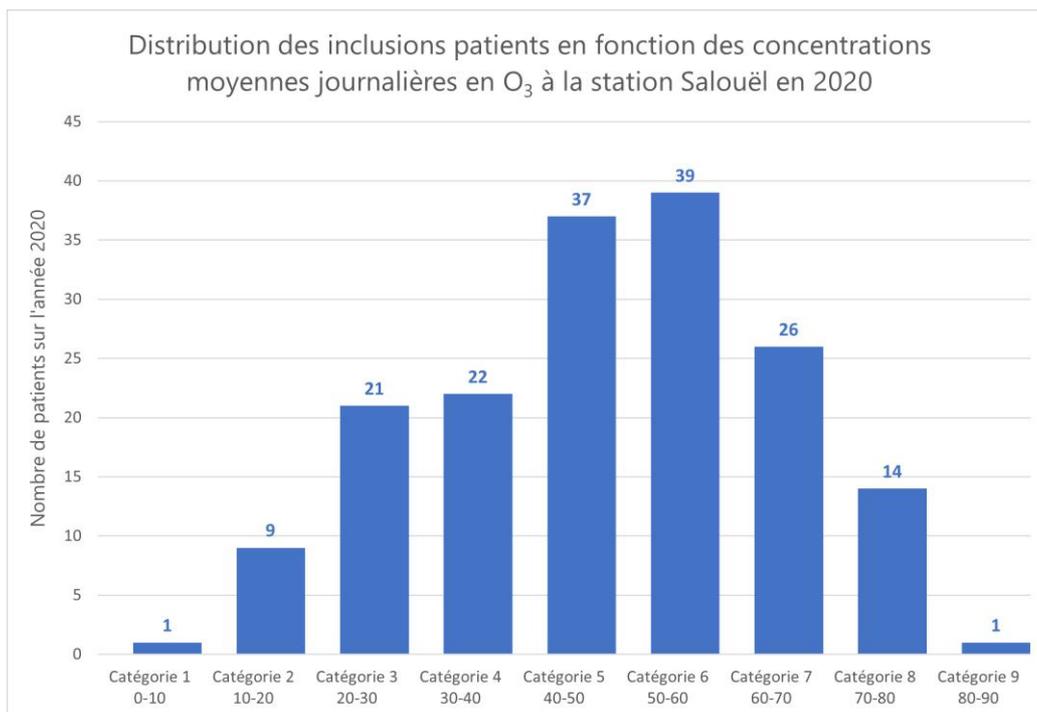


Figure 16 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes journalières en O₃ à la station de Salouël

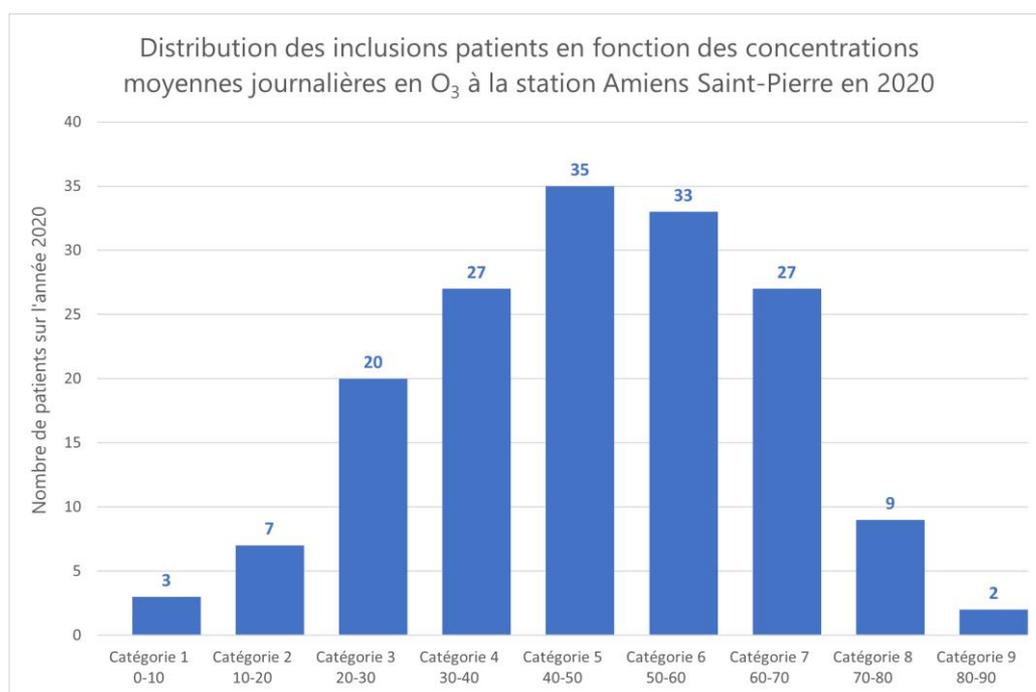


Figure 17 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes journalières en O₃ à la station d'Amiens Saint-Pierre

Les graphiques ci-dessus montrent un nombre d'inclusions plus élevé pour la catégorie 6 à Salouël (concentrations en ozone entre 50 et 60 µg/m³) et des inclusions plus élevées à Amiens Saint-Pierre pour des concentrations entre 40 et 50 µg/m³ (catégorie 5).

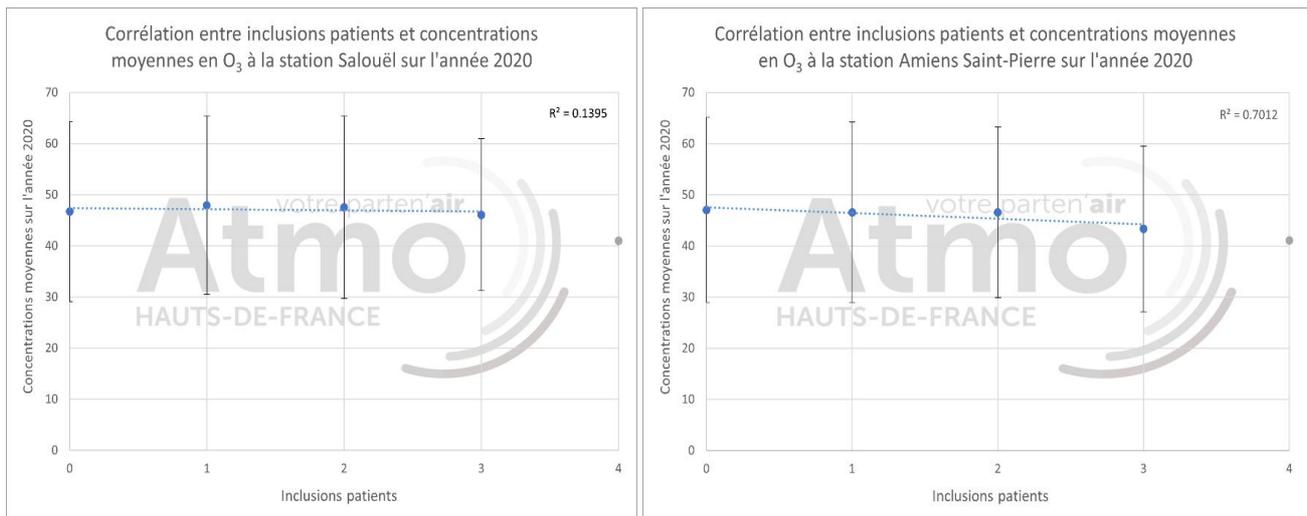


Figure 18 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en O₃ en 2020

Les graphiques ci-dessus permettent de montrer une absence de corrélation entre les concentrations en ozone et les inclusions patients, pour Salouël mais également Amiens Saint-Pierre.

Traitement statistique

Il n'y a pas de lien significatif entre les concentrations en ozone ($p = 0,5575$) et le nombre de consultations aux urgences pour exacerbations de BPCO. Néanmoins, lorsqu'on restreint l'analyse à la période **pré-confinement** (01/01/2020 au 16/03/2020), il y a une tendance entre augmentation du nombre des consultations aux urgences pour exacerbations et augmentation des valeurs mesurées d'ozone ($p=0,07$).

Deux épisodes de pollution à l'ozone ont été constatés dans la Somme durant la période estivale.

Les résultats graphiques ne permettent pas de montrer de corrélation entre les concentrations en ozone des deux stations amiénoises et les inclusions patients.

Les tests statistiques montrent quant à eux des résultats multiples : l'analyse faite sur l'année indique une absence de corrélation entre augmentation des concentrations en ozone et pics d'exacerbation. Cependant, en ne se focalisant que sur la période de pré-confinement, la valeur p diminue de manière nette, traduisant l'effet important du confinement sur ces corrélations. Ainsi, il semble y avoir une tendance en faveur d'un lien entre ozone et exacerbations.

5.3.3. Les particules en suspension PM10

☐ Concentrations moyennes sur l'année

Site de mesures		Particules en suspension (PM10)				
		Concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeur horaire maximale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Percentile journalier 90,4 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nombre de jours où la moyenne journalière a été supérieure à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valeur journalière maximale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Année 2020	Salouël (périurbaine)	15	66 le 20/04 à 2h	25	1	53 le 28/03/2020
	Amiens St-Pierre (urbaine)	15	90 le 09/04 à 12h	26	0	43 le 09/04/2020
Valeurs réglementaires		40 (valeur limite)	-	50 à ne pas dépasser plus de 35 jours par an (valeur limite)		

Tableau 6 : Bilan en particules PM10 sur les stations de l'agglomération amiénoise pour l'année 2020

Avis et interprétation :

Sur l'année 2020, au regard des résultats obtenus, toutes les valeurs réglementaires concernant les particules en suspension PM10 ont été respectées sur la station de Salouël au sein de l'agglomération d'Amiens.

Valeurs réglementaires respectées sur à la station de Salouël pour les particules en suspension PM10 au cours de l'année 2020

☐ Cartographie des concentrations en PM10 sur le territoire

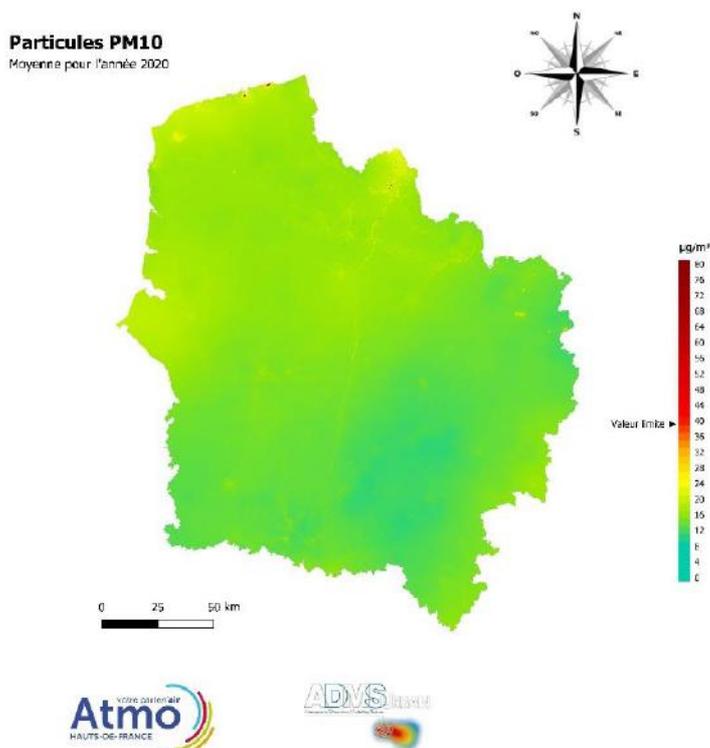


Figure 19 : Modélisation des concentrations en PM10 sur le territoire en 2020

En 2020, la modélisation des concentrations de particules PM10 en moyenne annuelle montre une problématique à l'échelle régionale (niveau moyen régional de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), accentuée par les contributions locales. Le minimum régional (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) est dans le centre de l'Aisne, qui fait figure d'exception avec des niveaux plus faibles qu'ailleurs. Les niveaux sont légèrement moins élevés qu'en 2019 (-1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne). Au niveau régional, la modélisation met en relief les centres urbains, les axes routiers structurants, ainsi que certains sites industriels. La valeur limite sur la moyenne annuelle fixée à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ peut être dépassée ponctuellement en proximité industrielle (en lien avec le type d'industries implantées) et le long de certains tronçons routiers. La superficie de dépassement est de 2 km^2 . La population reste, quant à elle, non concernée par des concentrations supérieures à la VL.

Evolution journalière des concentrations en PM10

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la moyenne journalière de la concentration en particules en suspension PM10 au cours de l'année 2020, mise en perspective avec le nombre de patients inclus par les services d'urgences du CHU Amiens-Picardie et de la Clinique de l'Europe.

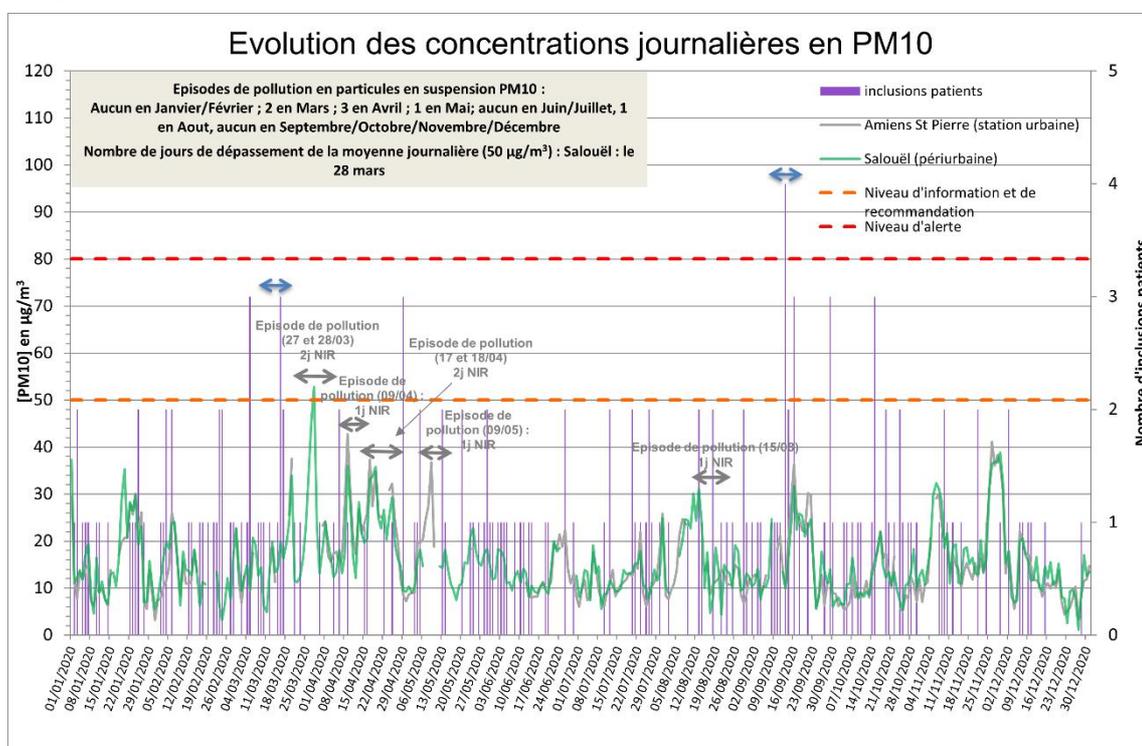


Figure 20 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des concentrations moyennes journalières en PM10 sur l'année 2020

Les flèches bleues indiquent les périodes de pic d'exacerbation de la maladie sur l'année 2020

Cinq épisodes de pollution aux particules en suspension PM10 sont enregistrés dans la Somme au cours de l'année 2020 : le 1^{er} les 27 et 28 mars (2 jours), le second le 9 avril (1 jour), le troisième les 17 et 18 avril (2 jours), le quatrième le 9 mai (1 jour) et enfin les 09, 11 et 15 août (3 jours), ce dernier étant couplé avec un épisode de pollution à l'ozone.

□ Corrélation entre les inclusions de patients et les données moyennes journalières en PM10

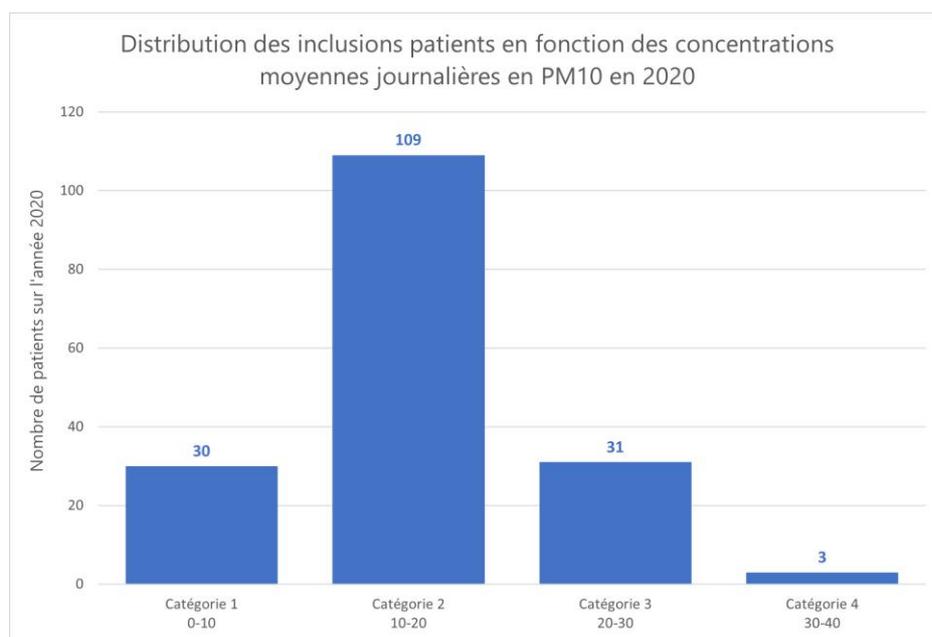


Figure 21 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes journalières en PM10

Sur l'année 2020, le maximum d'inclusions a été relevé lorsque les concentrations en PM10 étaient de l'ordre de 10 à 20 µg/m³, soit 109 patients. 80% des inclusions ont eu lieu lorsque les concentrations extérieures en PM10 étaient comprises entre 0 et 20 µg/m³, soit un total de 139 patients.

Tout comme pour le NO₂, le nombre d'inclusions le plus faible est lié à la catégorie 4, soit les concentrations les plus élevées, entre 30 et 40 µg/m³.

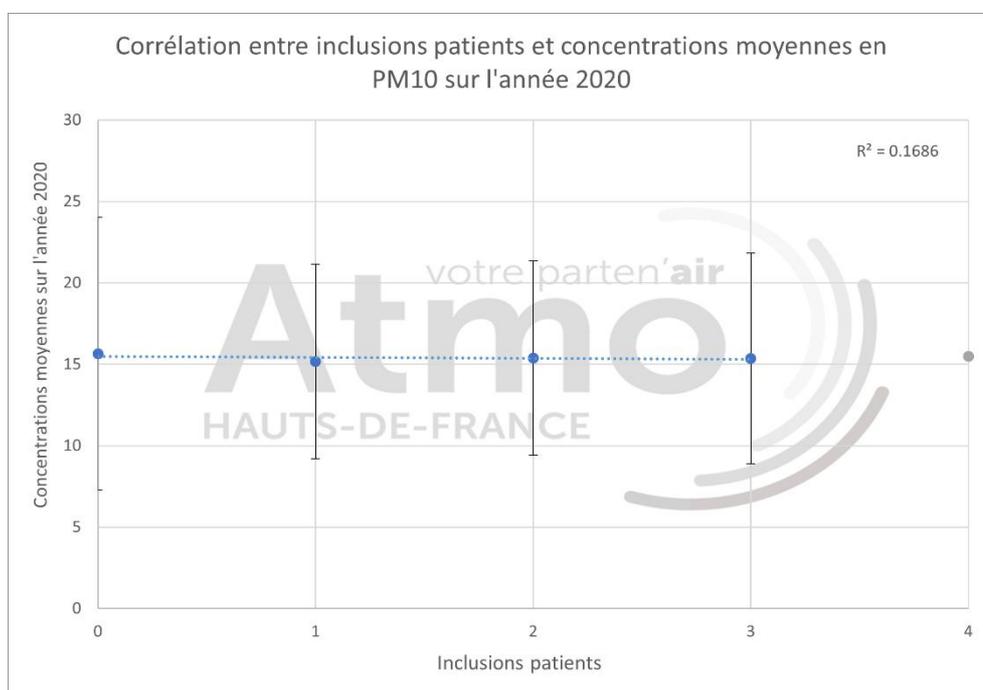


Figure 22 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en PM10 en 2020

La corrélation présente ci-dessus semble dessiner une tendance neutre. En conséquence, il ne semble pas exister de corrélation distincte entre concentrations en particules PM10 et inclusions de patients.

Traitement statistique

Il n'y a pas de lien significatif entre les concentrations en PM10 ($p = 0,9840$) et le nombre de consultations aux urgences pour exacerbations de BPCO. Sur la période pré-confinement (01/01/2020 au 16/03/2020), il existe une tendance non significative sur un lien positif entre PM10 et consultation aux urgences pour exacerbations de BPCO ($p=0,13$). Même si la puissance de la relation ne peut établir de lien significatif entre les concentrations en PM10 et le nombre d'inclusions patients, la valeur de cette relation a fortement baissé en enlevant les périodes de confinement. Ceci peut donc suggérer l'impact de celui-ci sur les inclusions de patients au cours de l'année 2020.

Sur l'année 2020, les niveaux d'information et de recommandation (NIR) pour les particules PM10 ont été dépassés durant les 3 premiers trimestres dans la Somme, avec un dépassement du NIR le 28 mars dans l'agglomération amiénoise (Salouël).

Malgré des pics de concentration durant l'année et des épisodes de pollution, l'évolution journalière couplée aux graphiques de corrélation n'a pas pu permettre de dégager de corrélation entre les inclusions de patients et les concentrations en particules PM10.

Sur l'année complète, il ne ressort pas de corrélation entre les augmentations des concentrations en PM10 et les inclusions de patients. Toutefois, en se basant sur la période pré confinement, la valeur de p diminue nettement, semblant décrire un lien positif entre ces deux variables, bien que non significatif. Les tests statistiques permettent ainsi de dégager, tout comme pour l'ozone (O_3), l'influence du confinement.

5.3.4. Les particules fines PM2.5

☐ Concentrations moyennes sur l'année

Dans le tableau ci-après sont résumés les résultats de l'année pour les particules fines PM2.5 sur les stations de l'agglomération amiénoise.

Site de mesures		Particules fines (PM2.5)
		Concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Année 2020	Amiens 14 juillet (trafic)	10
Valeurs réglementaires		25 (valeur limite) 10 (Objectif de qualité)

Tableau 7 : Bilan en particules PM2.5 sur les stations de l'agglomération amiénoise pour l'année 2020

Avis et interprétation :

Sur l'année 2020, au regard des résultats obtenus, l'objectif de qualité ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle) n'est pas respecté pour les particules fines PM2.5 sur la station trafic d'Amiens 14 juillet.

Valeur réglementaire non respectée sur le territoire d'Amiens Métropole pour les particules fines PM2.5 au cours de l'année 2020

☐ Cartographie des concentrations en PM2.5 sur le territoire

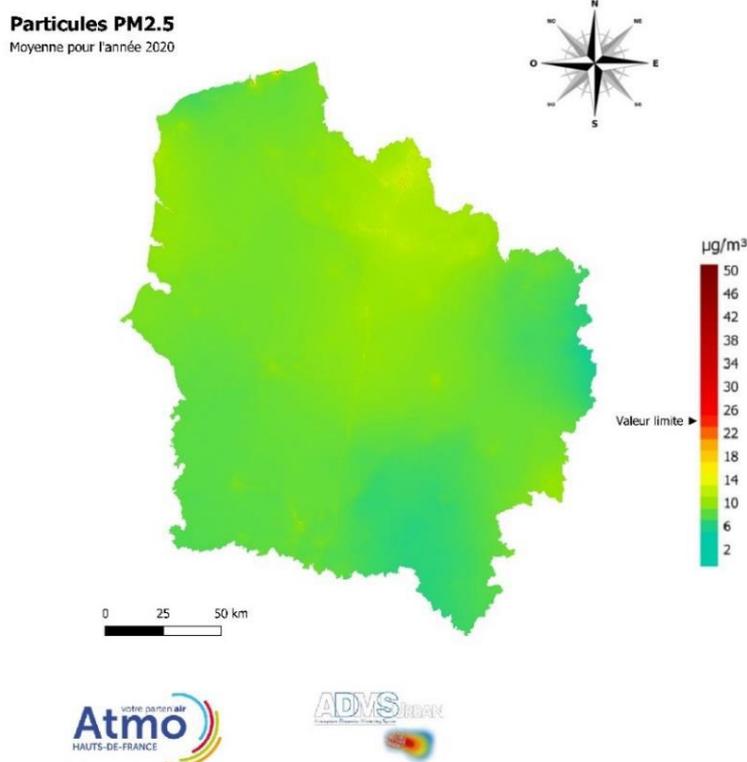


Figure 23 : Modélisation des concentrations en particules PM2.5 sur le territoire en 2020

En 2020, la modélisation des concentrations de particules PM2.5 en moyenne annuelle montre une problématique régionale (niveau moyen régional 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), malgré des disparités locales. Elle met en relief l'influence des centres urbains, de certains sites industriels, ainsi que du réseau routier structurant. La concentration minimale (en moyenne annuelle) modélisée en région est de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans le département de l'Aisne. Les niveaux sont en moyenne inférieurs de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à ceux de 2019. Les niveaux moyens en région restent inférieurs à la valeur limite (VL) fixée à 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, à l'exception de quelques dépassements ponctuels observés (moins de 1 km^2) en proximité industrielle et le long de certains tronçons routiers. La population reste, quant à elle, non concernée par des concentrations supérieures à la VL.

Evolution journalière des concentrations en PM2.5

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la moyenne journalière de la concentration en particules fines PM2.5 au cours de l'année 2020, mise en perspective avec le nombre de patients inclus par les services d'urgences du CHU Amiens-Picardie et de la Clinique de l'Europe.

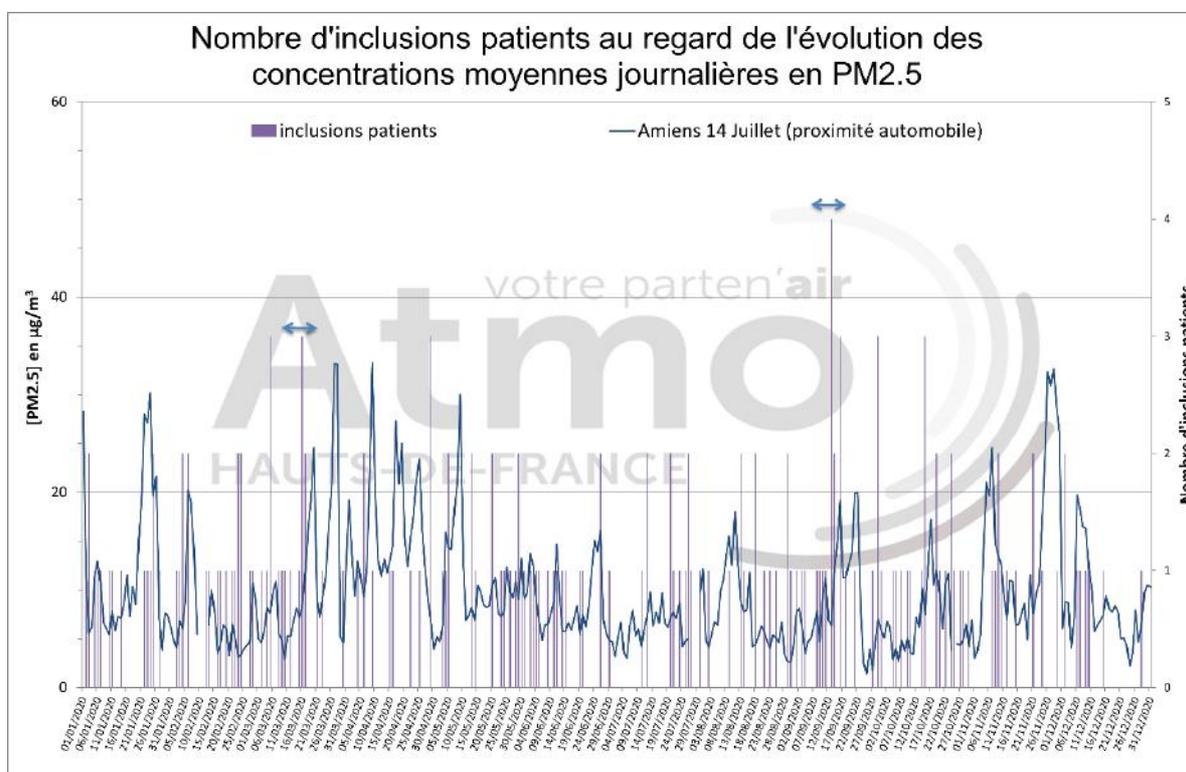


Figure 24 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des concentrations moyennes journalières en PM2.5 sur l'année 2020

Les flèches bleues indiquent les périodes de pic d'exacerbation de la maladie sur l'année 2020

Au regard de la figure 24, les pics d'exacerbations pour BPCO apparus en mars et septembre ne semblent pas être liés à un pic de concentrations en particules PM2.5, malgré un dépassement de leurs valeurs réglementaires (objectif qualité) sur l'année 2020 sur la station d'Amiens 14 juillet.

☐ Corrélation entre les inclusions de patients et les données moyennes journalières en PM2.5

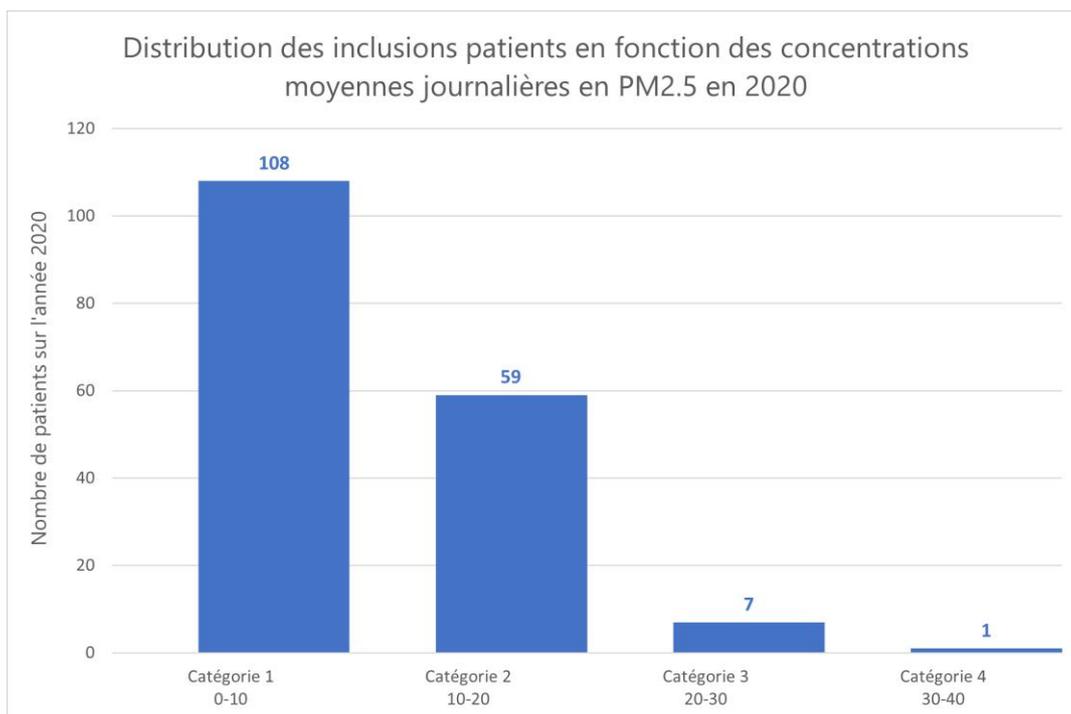


Figure 25 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes en PM2.5 en 2020

Le graphique de distribution des inclusions journalières semble dégager une anti-corrélation entre le nombre de patients inclus et les concentrations extérieures en PM2.5 durant le moment de l'inclusion.

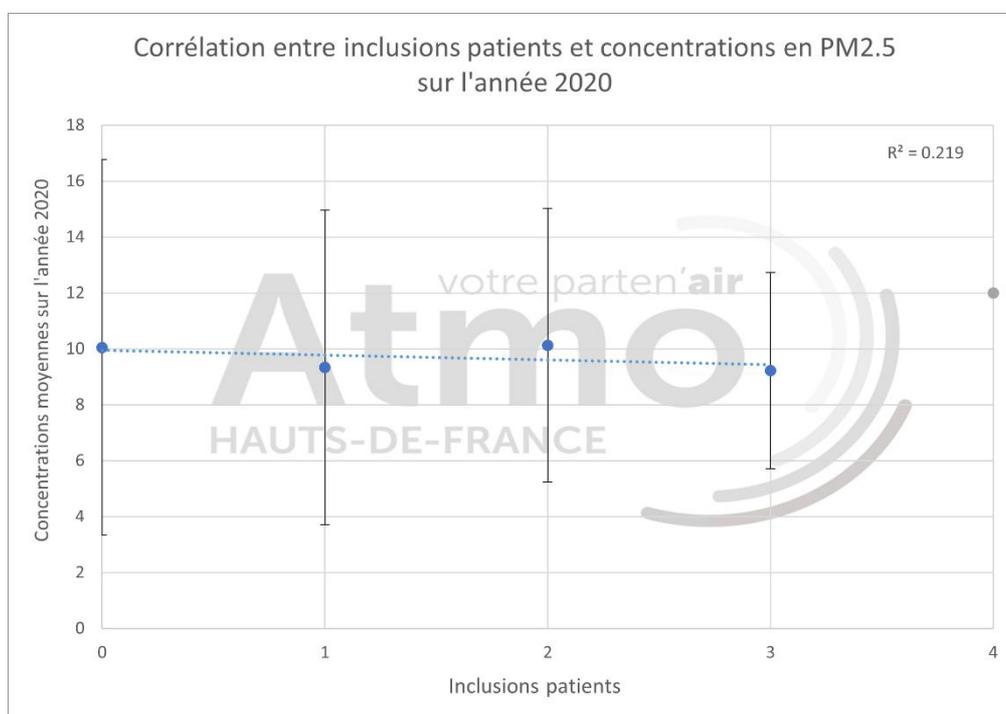


Figure 26 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en PM2.5 en 2020

Les résultats graphiques ne permettent pas de montrer un lien significatif entre augmentation des concentrations en particules PM2.5 et inclusions patients (R^2 bas de 0.2).

☐ Traitement statistique

Il n'y a pas de lien significatif entre les concentrations PM2.5 ($p = 0,6147$) et le nombre de consultations aux urgences pour exacerbations de BPCO. Ces résultats sont retrouvés sur la période pré-confinement ($p=0,32$).

Malgré des pics de concentration durant l'année, l'évolution journalière, couplée aux graphiques de corrélation et aux tests statistiques n'ont pas pu permettre de dégager de corrélation entre les inclusions de patients et les concentrations en particules PM2.5.

5.3.5. Les particules ultrafines (PUF)

☐ Concentrations moyennes sur l'année

La surveillance des particules ultrafines (PUF) a été réalisée à la station Amiens St-Pierre sur l'année 2020, spécifiquement dans le cadre d'étude BEPoPi.

Dans le tableau ci-après sont résumés les résultats de l'année pour les particules ultrafines sur les stations de l'agglomération amiénoise.

Site de mesures		Particules ultrafines (PUF)
		Concentration moyenne (p/cm ³)
Année 2020	Amiens St-Pierre (urbaine)	5 121

Tableau 8 : Bilan en particules ultrafines sur les stations de l'agglomération amiénoise pour l'année 2020

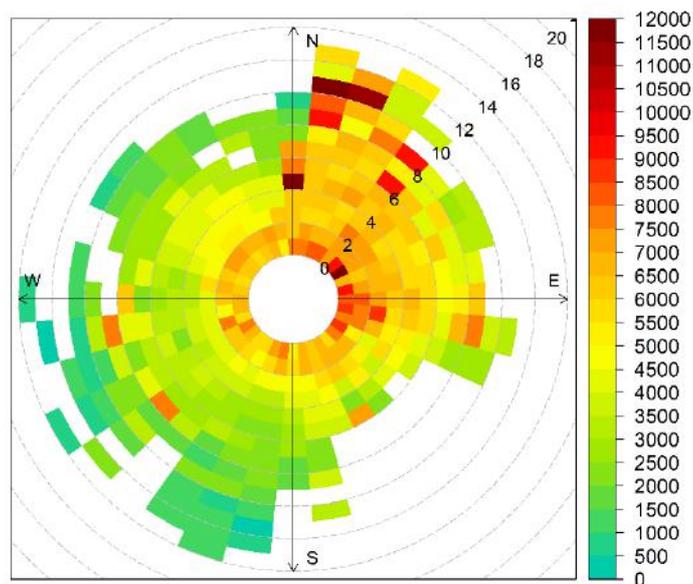
Avis et interprétation :

A l'heure actuelle, il n'existe pas de réglementation sur la concentration des particules ultrafines (PUF) en air ambiant. Cette valeur en moyenne annuelle (5 121 p/cm³) correspond à un site urbain, selon les études précédentes en région Hauts-de-France¹⁵. En 2020, la concentration moyenne des PUF à la station Lille Leeds (trafic) est de 7 224 p/cm³, ce qui représente 40 % de plus que celle d'Amiens.

☐ Rose de pollution des PUF

La rose de pollution pour les particules ultrafines (PUF) est présentée ci-dessous. Les concentrations moyennes les plus élevées se trouvent dans les directions Nord – Nord-Est, associées à une vitesse de vent élevée (> 6 m/s) et Est – Nord-Est, associées à une vitesse de vent très faible (< 1 m/s). Les particules ultrafines proviennent ainsi de sources locales (vent calme) d'une part, et d'autre part, elles peuvent être transportées par les vents très forts.

¹⁵ Atmo HdF, « Surveillance des particules ultrafines dans la région Hauts-de-France », décembre 2020.



Particules ultrafines (par cm³) à Amiens Saint-Pierre en 2020 (valeurs moyennes)

Figure 27 : Rose de pollution pour les particules ultrafines en 2020 (valeurs moyennes)

Evolution mensuelle des concentrations en PUF

La concentration moyenne mensuelle des PUF avec 6 classes de taille est présentée ci-dessous. En mars, les données sont manquantes à cause de problèmes techniques. Les concentrations varient entre **3 000** (février) et **6 400** (avril) particules/cm³. Les fractions plus fines (**20-50 nm**) représentent entre **47** et **60%** des PUF totales, qui sont considérées plus dangereuses pour la santé.

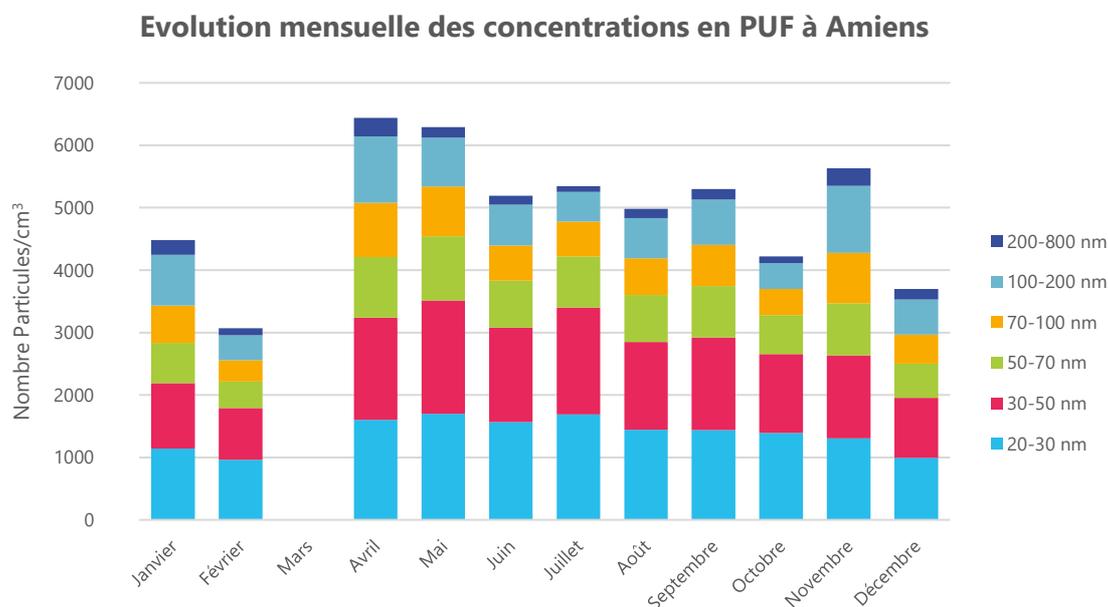


Figure 28 : Evolution mensuelle des concentrations en PUF en 2020

Evolution journalière des concentrations en PUF

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la moyenne journalière de la concentration en PUF au cours de l'année 2020, mise en perspective avec le nombre de patients inclus par les services d'urgences du CHU Amiens-Picardie et de la Clinique de l'Europe. Le niveau des concentrations en PUF est assez important toute l'année.

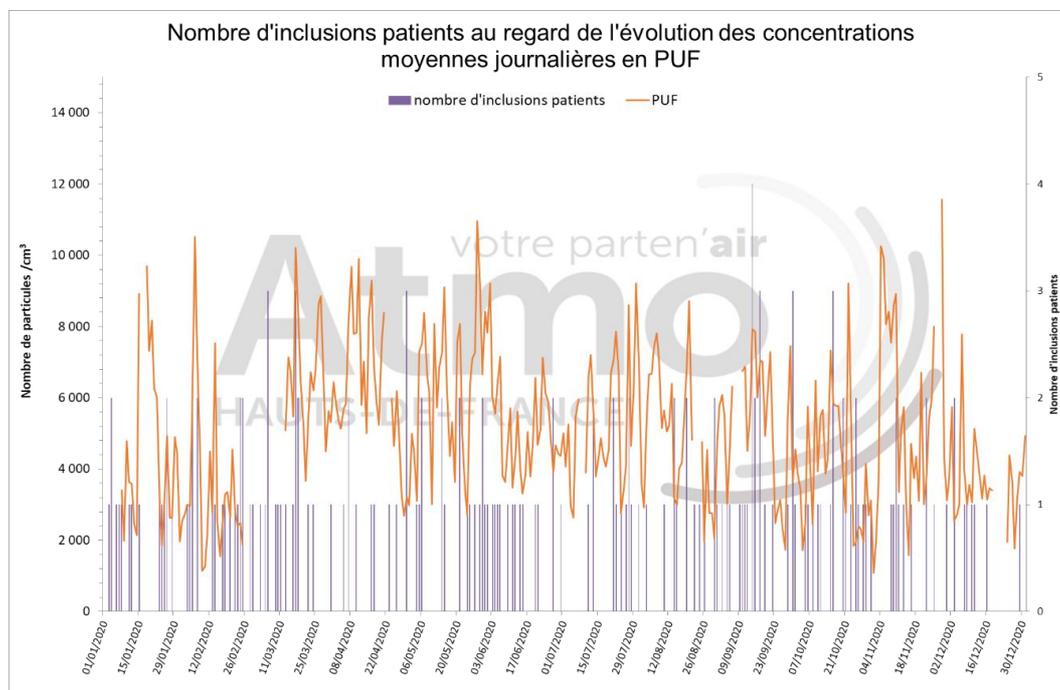


Figure 29 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des concentrations moyennes journalières en PUF sur l'année 2020

Corrélation entre inclusions patients et les données moyennes journalières en PUF

La distribution des inclusions de patients montre qu'il y a 55 passages pour la concentration des PUF entre 2 000-3 999 p/cm^3 . Le nombre de passages est moins important pour les concentrations très faibles (< 2 000 p/cm^3) et les concentrations très élevées (> 8 000 p/cm^3).

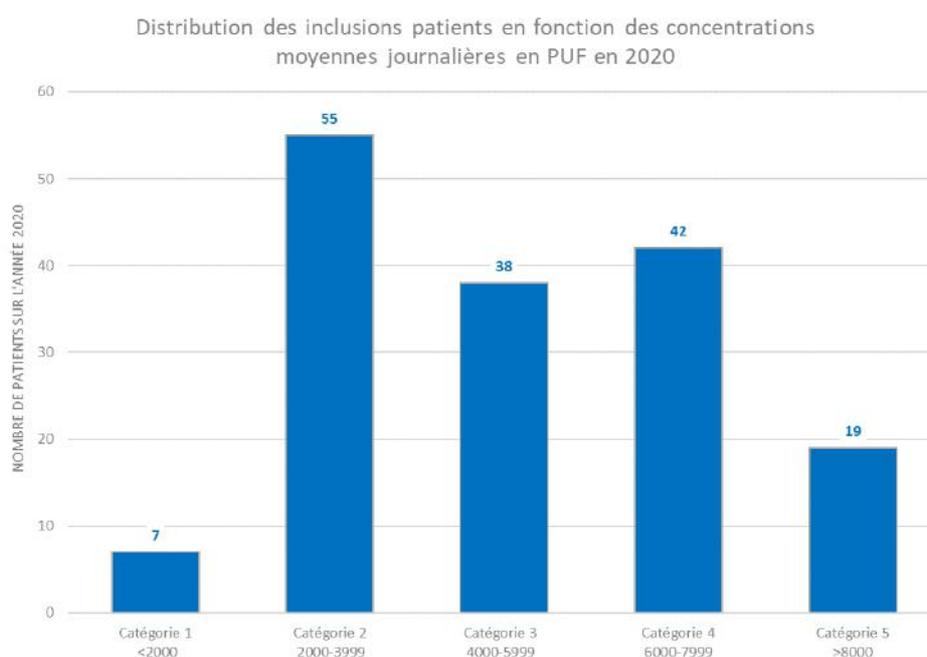


Figure 30 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes journalières en PUF en 2020

Le nombre des inclusions patients augmente en fonction de la concentration moyenne des PUF totales (20-800 nm), avec une bonne corrélation ($R^2 = 0.78$). Cette augmentation est plus significative pour les fractions plus fines des particules, notamment pour les **30-50 nm** ($R^2 = 0.84$). A partir de 70 nm, cette corrélation n'est pas très observée (R^2 proche de 0).

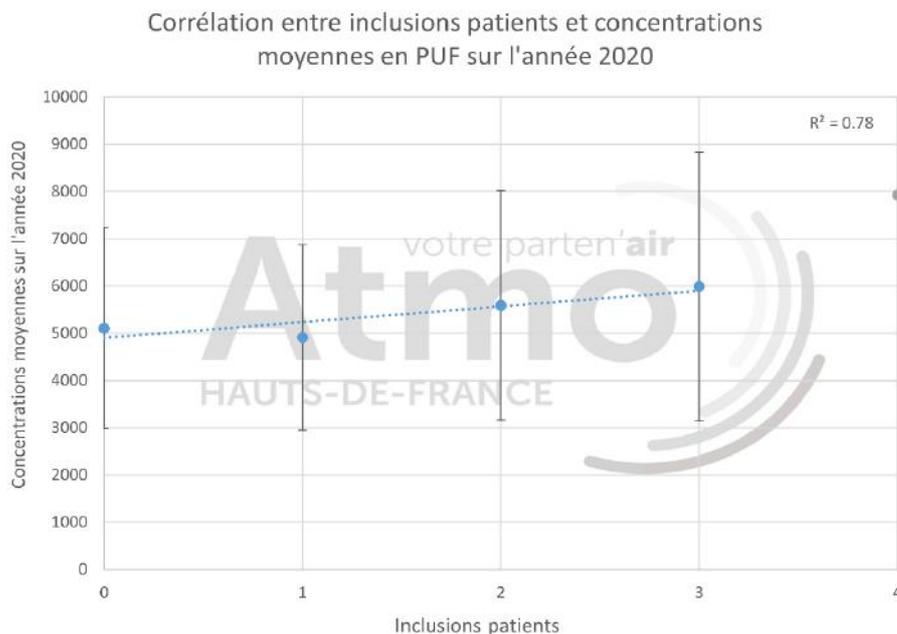
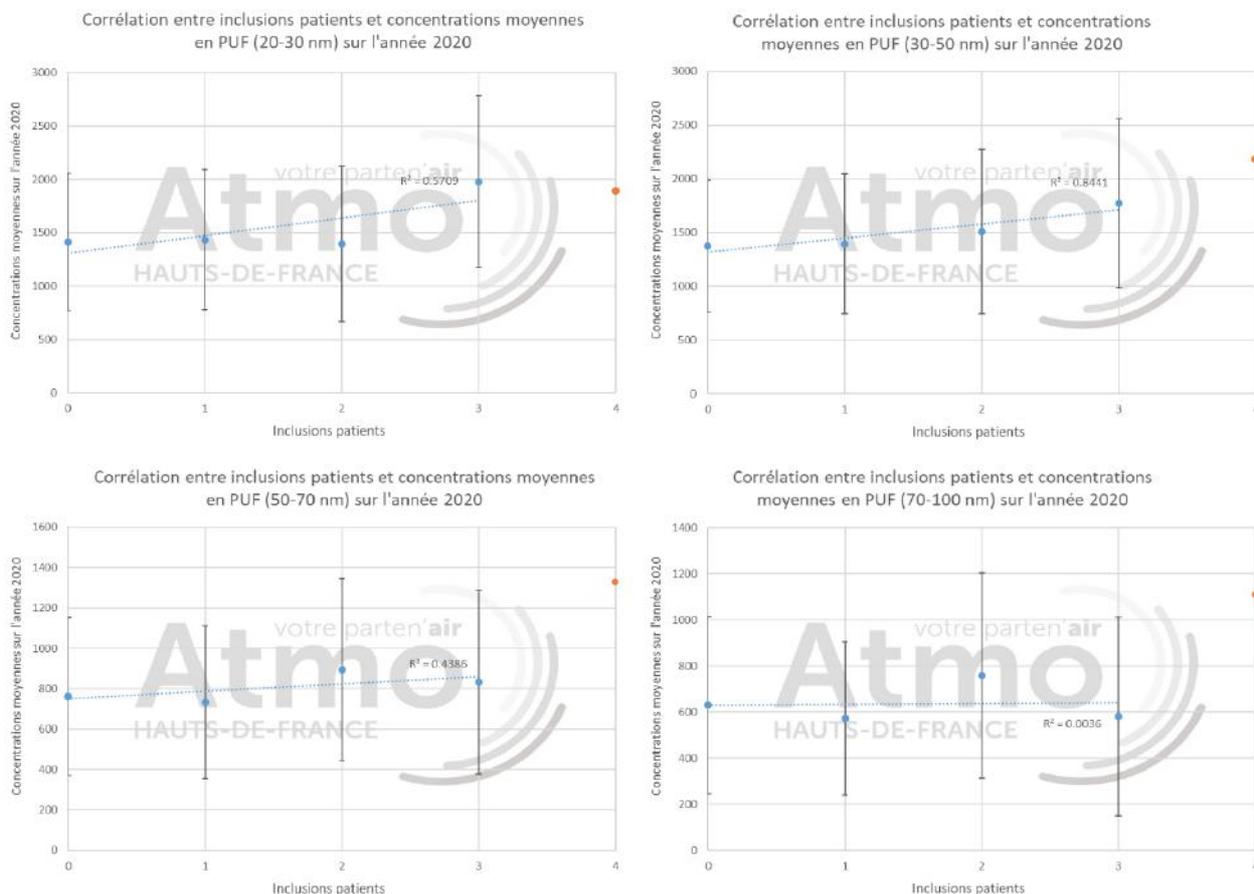


Figure 31 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes journalières en PUF



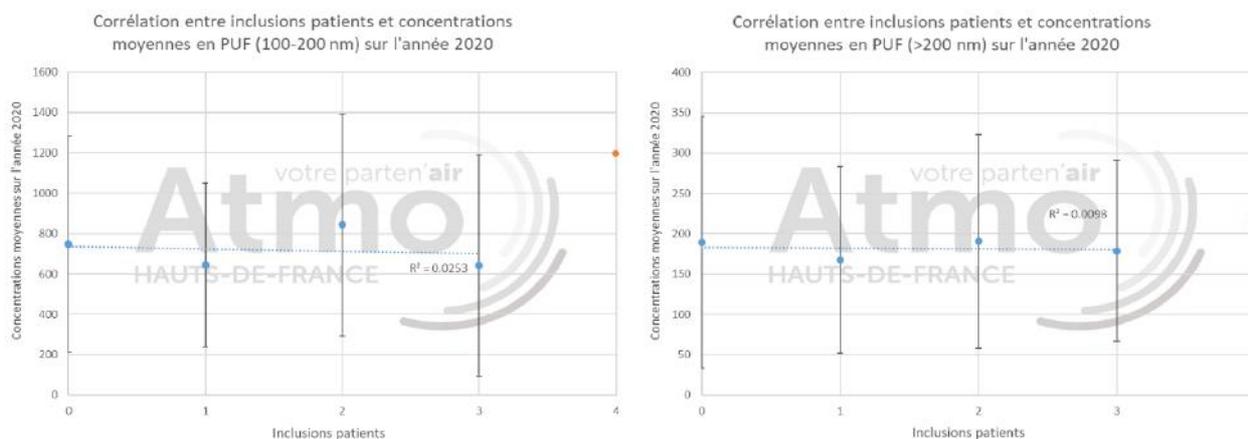


Figure 32 : Corrélations entre inclusions patients et concentrations moyennes journalières en PUF par classe de taille

☐ Traitement statistique

L'analyse statistique ne retrouve pas de lien significatif entre la concentration en particules ultrafines et les consultations aux urgences pour exacerbations de BPCO, quelle que soit la taille de ces **particules, même s'il semble exister une tendance en faveur d'un lien entre consultations aux urgences et particules de plus petit taille (moins de 50 nm)**. Il est néanmoins important de noter qu'il n'y a quasi aucune données de PUF en mars 2020 et que durant ce même mois, on retrouve le pic de PM10 et une augmentation des PM2.5. C'est également une période de fortes consultations aux urgences. L'absence des données de PUF peut avoir diminué la puissance nécessaire à montrer un lien entre exacerbations et PUF, notamment pour les plus fines (moins de 50 nm), pour lesquelles il existe une tendance réelle à un lien.

Taille des particules	p value
20-30 nm	p = 0,3504
30-50 nm	p = 0,2803
50-70 nm	p = 0,4106
70-100 nm	p = 0,5385
100-200 nm	p = 0,6608
> 200 nm	p = 0,7417

Tableau 9 : Impact des PUF selon leur taille sur les passages aux urgences, en analyse multivariée incluant en plus des PUF : métaux lourds, Black Carbon, NO₂, O₃, température, pollens et odeurs

Au regard des résultats graphiques, une corrélation entre les concentrations en PUF et les inclusions patients se dessine. Cette dernière est particulièrement significative pour les fractions les plus petites des PUF, entre 30 et 50 nm.

Malgré des résultats statistiques non significatifs, il semble ressortir un lien non négligeable entre les inclusions patients et les particules inférieures à 50 nm, rejoignant ainsi les conclusions graphiques.

5.3.6. Black Carbon

Concentrations moyennes sur l'année

La mesure du Black Carbon (BC) a été menée à la station Amiens St-Pierre sur l'année 2020, spécifiquement dans le cadre d'étude BEPoPi.

La concentration moyenne du Black Carbon est de $0.873 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui représente environ 10% des particules PM2.5.

Site de mesures		Black Carbon (BC)
		Concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Année 2020	Amiens St-Pierre (urbaine)	0.873

Tableau 10 : Bilan en Black Carbon sur les stations de l'agglomération amiénoise pour l'année 2020

Avis et interprétation :

A l'heure actuelle, il n'existe pas de réglementation sur la concentration du Black Carbon en air ambiant. Cette valeur en moyenne annuelle ($0.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est proche, mais plus faible, de celles des autres sites en région Hauts-de-France en 2020 (Creil : $1.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Lille Leeds (trafic) : $1.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et Lille Fives : $0.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Rose de pollution du Black Carbon

La rose de pollution du Black Carbon indique que les concentrations plus importantes se trouvent dans les directions Nord-Est, Est et Sud-Est, associées à des vents très calmes ($< 1 \text{ m/s}$). Le BC est en effet un polluant local.

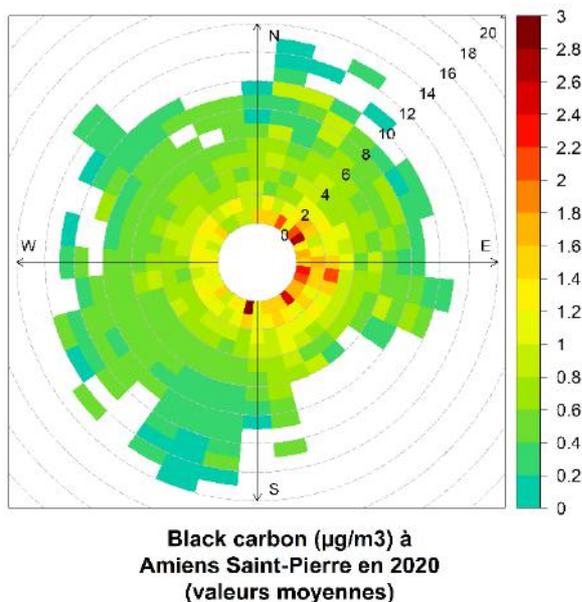


Figure 33 : Rose de pollution pour le Black Carbon en 2020 (valeurs moyennes)

Origines du Black Carbon

Les sources d'émission du Black Carbon peuvent être estimées par combustion de biomasse ou par combustion de fioul fossile. Le modèle utilisé pour répartir ces sources d'émission est celui rapporté par Sandradewi et al. (2008)¹⁶.

En 2020, **73%** du Black Carbon est produit par la **combustion du carburant fossile (trafic routier)** et **27%** dû à la **combustion de biomasse (chauffage au bois)**. La variation mensuelle (Figure 34) montre que la combustion de biomasse est plus importante en période froide (notamment **novembre 2020**), du fait d'une utilisation plus importante du chauffage à cette période. La combustion du carburant fossile est une source relativement stable durant toute l'année.

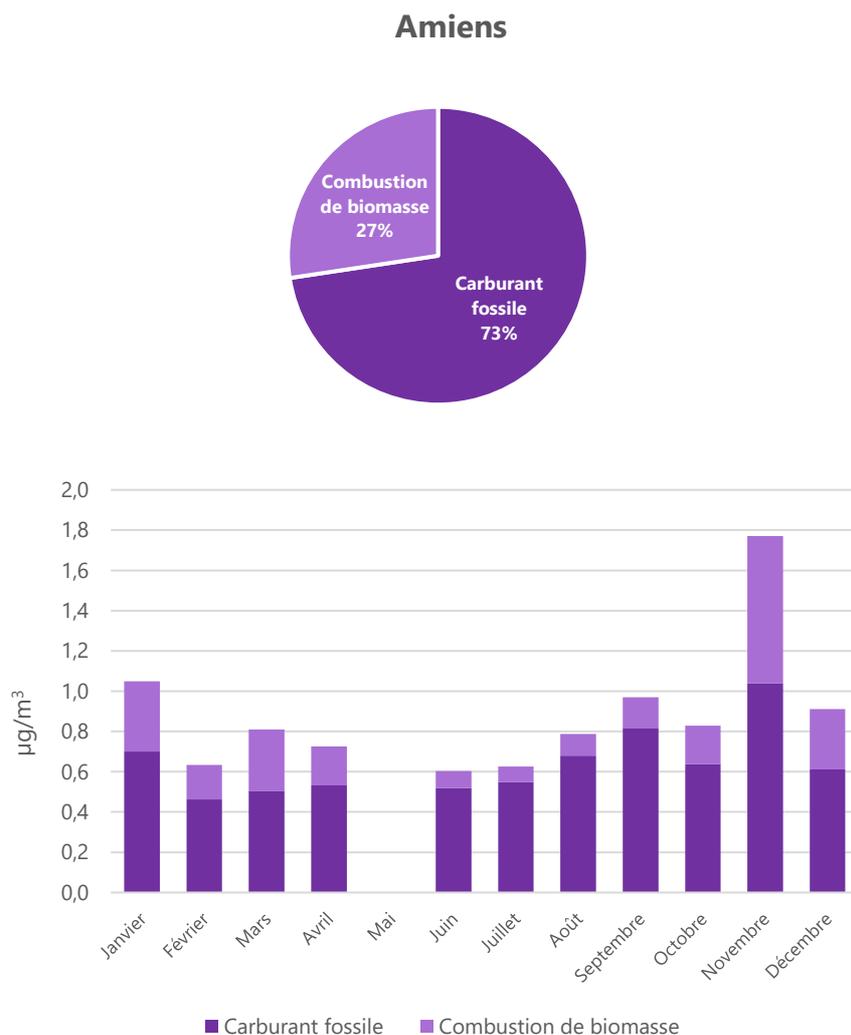


Figure 34 : Source d'origine du Black Carbon : carburant fossile et combustion de biomasse

Evolution journalière des concentrations en Black Carbon

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la moyenne journalière de la concentration en BC au cours de l'année 2020, mise en perspective avec le nombre de patients inclus par les services d'urgences du CHU Amiens-Picardie et de la Clinique de l'Europe. Les concentrations plus élevées en BC se trouvent dans les périodes plus froides de l'année.

¹⁶ Sandradewi et al. ; « Using aerosols light absorption measurements for the quantitative determination of wood burning and traffic emission contributions to particulate matter », *Environ.Sci.Technol.*2008, 3316-333.

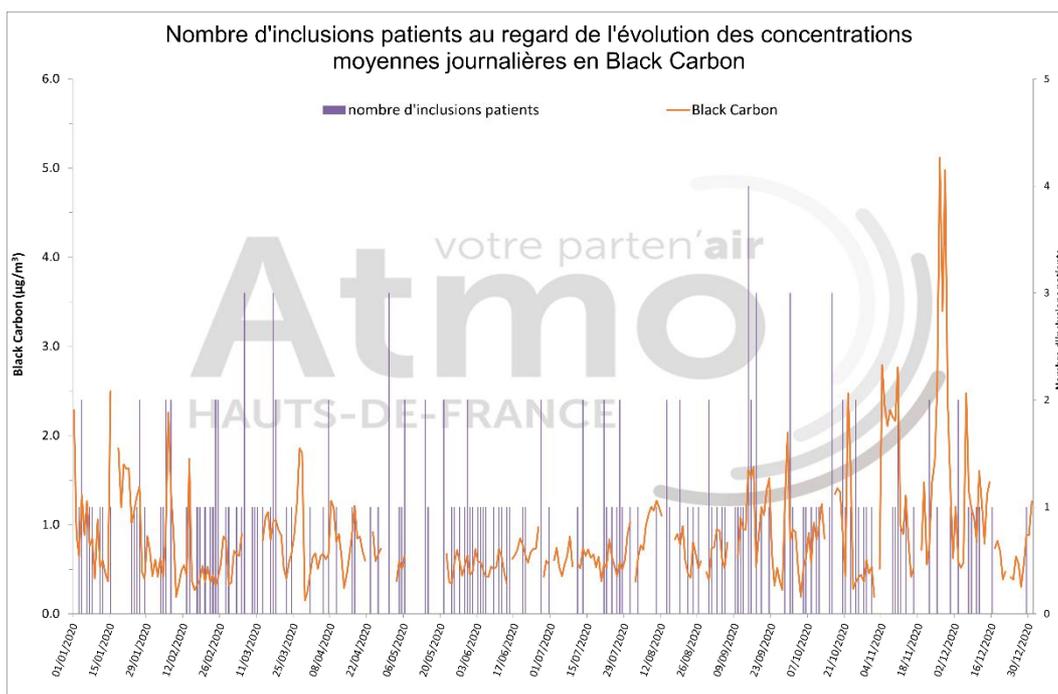


Figure 35 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des concentrations moyennes journalières en Black Carbon sur l'année 2020

Corrélation entre inclusions patients et les données moyennes journalières en Black Carbon

La distribution des inclusions patients montre qu'il y a 81 passages pour une concentration en BC entre 0.5-1 µg/m³. Le nombre de passages pour les autres catégories de concentrations est compris entre 6 et 31.

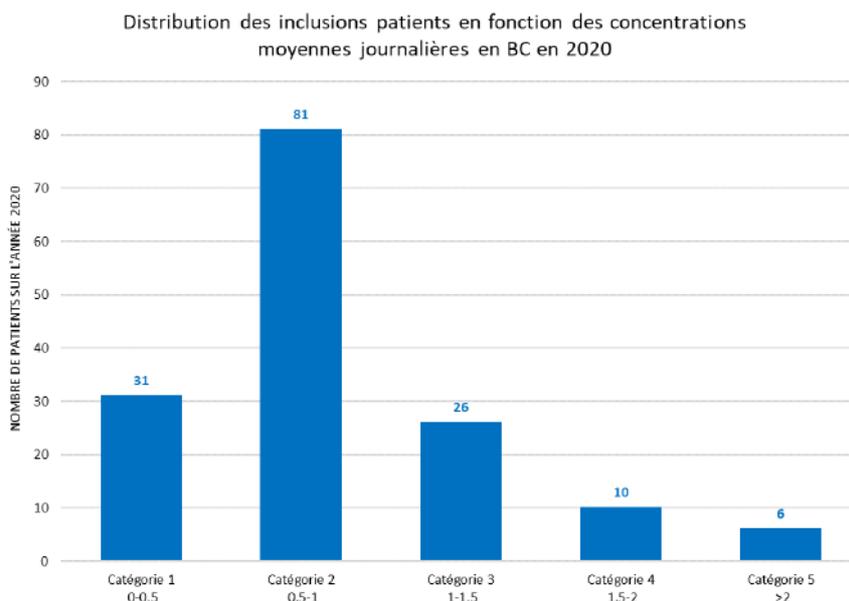


Figure 36 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes journalières en BC en 2020

Le nombre d'inclusions patients ne montre pas de corrélation avec les niveaux du BC, que ce soit en lien avec ses sources « trafic » (BCff) ou « chauffage au bois » (BCwb).

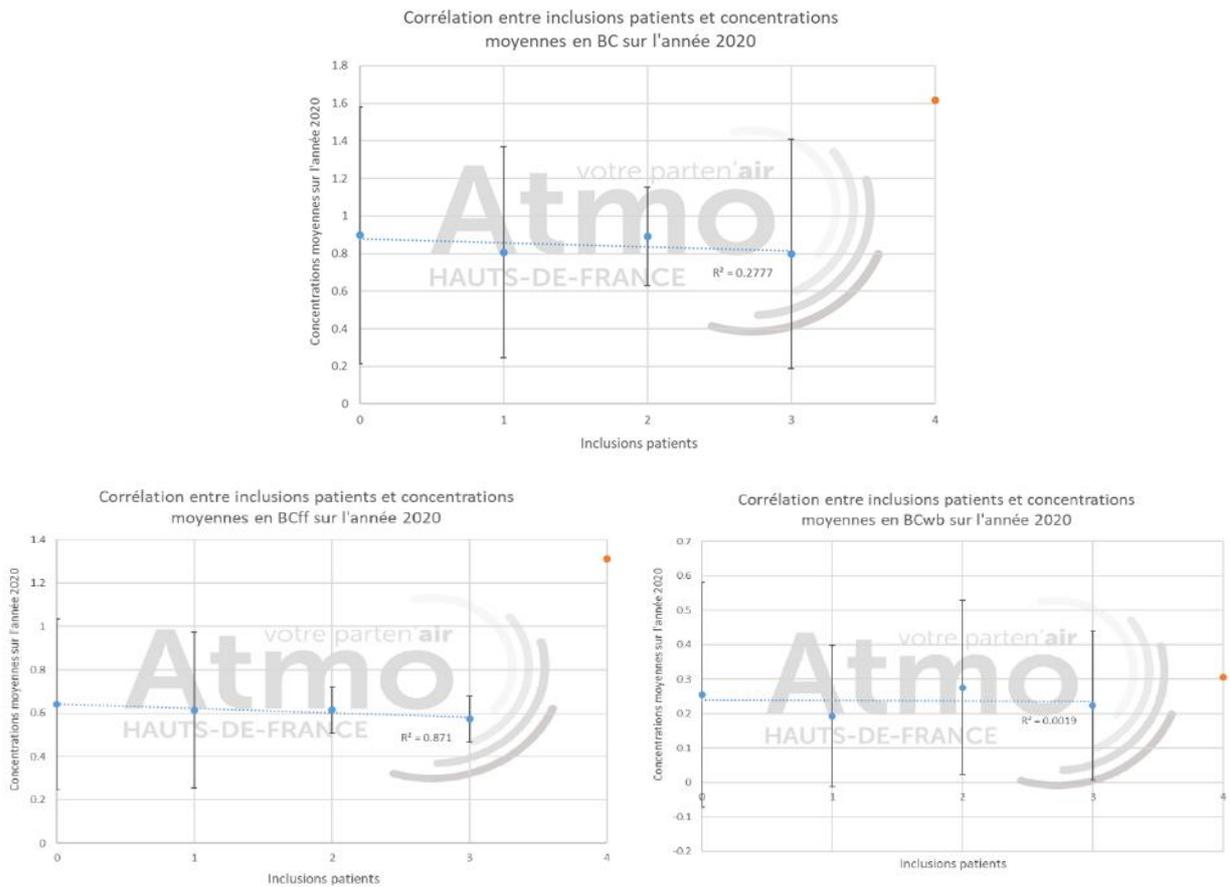


Figure 37 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en BC, BCff et BCwb en 2020

Traitement statistique

Il n'existe pas de lien significatif entre les concentrations de Black Carbon, que ce soit la part fossile ou la part issue de la biomasse, et le nombre de consultations aux urgences pour exacerbations de BPCO.

Tableau 11 : Résultats statistiques des corrélations entre Black Carbon et inclusions patients en fonction de leur origine

Black Carbon	P value
Combustion fossile	0,6395
Combustion de biomasse	0,4451

Les résultats graphiques et statistiques ne permettent pas de mettre en valeur une corrélation entre concentrations en Black Carbon et inclusions patients.

5.3.7. Métaux

☐ Concentrations moyennes sur l'année

Site de mesures		Métaux totaux	Plomb (Pb)	Arsenic (As)	Cadmium (Cd)	Nickel (Ni)
		Concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration moyenne (ng/m^3)	Concentration moyenne (ng/m^3)	Concentration moyenne (ng/m^3)
Année 2020	Amiens St-Pierre (urbaine)	2.36	0.003	0.2	0.1	0.2

Tableau 12 : Bilan en Métaux réglementés sur les stations de l'agglomération amiénoise pour l'année 2020

Avis et interprétation :

La concentration moyenne des métaux totaux est de $2.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui représente environ 16% des particules PM10.

Cette valeur en moyenne annuelle ($2.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$), est proche de la valeur mesurée à Amiens ($2.069 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Creil ($2.865 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et Lille ($2.815 \mu\text{g}/\text{m}^3$) au 1^{er} semestre 2018. Les concentrations en métaux à Grande-Synthe (site industriel) sont beaucoup plus élevées ($5.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que les autres sites durant l'année 2018.

Espèces métaux réglementés :

4 métaux parmi ceux faisant l'objet de l'étude sont des polluants réglementaires : Plomb (Pb), Arsenic (As), Cadmium (Cd) et Nickel (Ni). Leurs concentrations moyennes annuelles sont largement inférieures à la valeur limite, la valeur cible et l'objectif de qualité qui leur sont associés.

Polluant	Concentration moyenne en 2020	Norme en 2018		
		Valeur limite	Valeur cible	Objectif de qualité
Plomb (Pb)	$0.003 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle		$0.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle
Arsenic (As)	$0.2 \text{ng}/\text{m}^3$		$6 \text{ng}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle	
Cadmium (Cd)	$0.1 \text{ng}/\text{m}^3$		$5 \text{ng}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle	
Nickel (Ni)	$0.2 \text{ng}/\text{m}^3$		$20 \text{ng}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle	

Tableau 13 : Réglementation des métaux

☐ Evolution journalière des concentrations en métaux

La concentration totale des métaux correspond à la somme des 35 espèces mesurées.

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la moyenne journalière de la concentration en métaux au cours de l'année 2020, mise en perspective avec le nombre de patients inclus par les services d'urgences du CHU Amiens-Picardie et de la Clinique de l'Europe. Les concentrations plus élevées en métaux se trouvent en fin d'année (novembre-décembre).

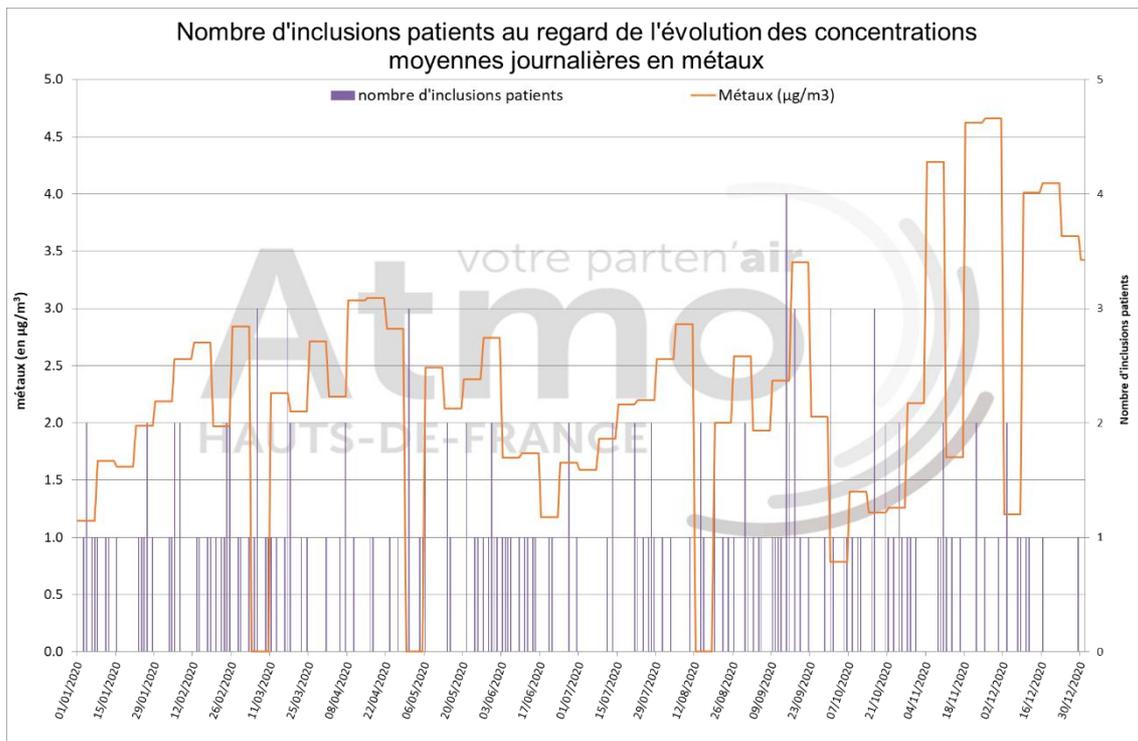


Figure 38 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des concentrations moyennes journalières en métaux sur l'année 2020

Evolution hebdomadaire des concentrations de certaines espèces métalliques

Certaines espèces de métaux peuvent être utilisées comme traceurs de sources d'émissions.

Ici, 4 sources (industrie, trafic routier, combustion de fioul lourd et poussières minérales) sont présentées. Le nombre d'inclusions patients hebdomadaire est la somme des visites durant la semaine.

La concentration de chaque métal est en bleu et le nombre d'inclusions patients est en orange.

Industrie

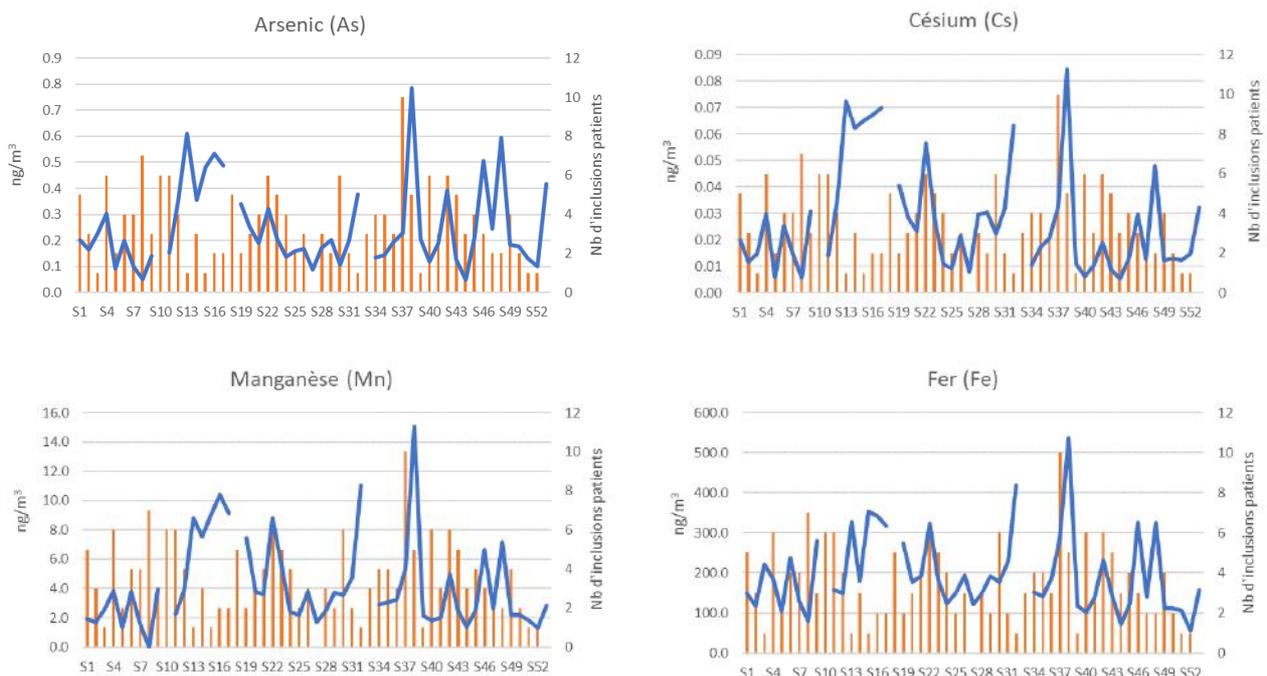


Figure 39 : Evolution des concentrations en métaux issus du secteur industriel au regard des inclusions patients en 2020

Trafic routier

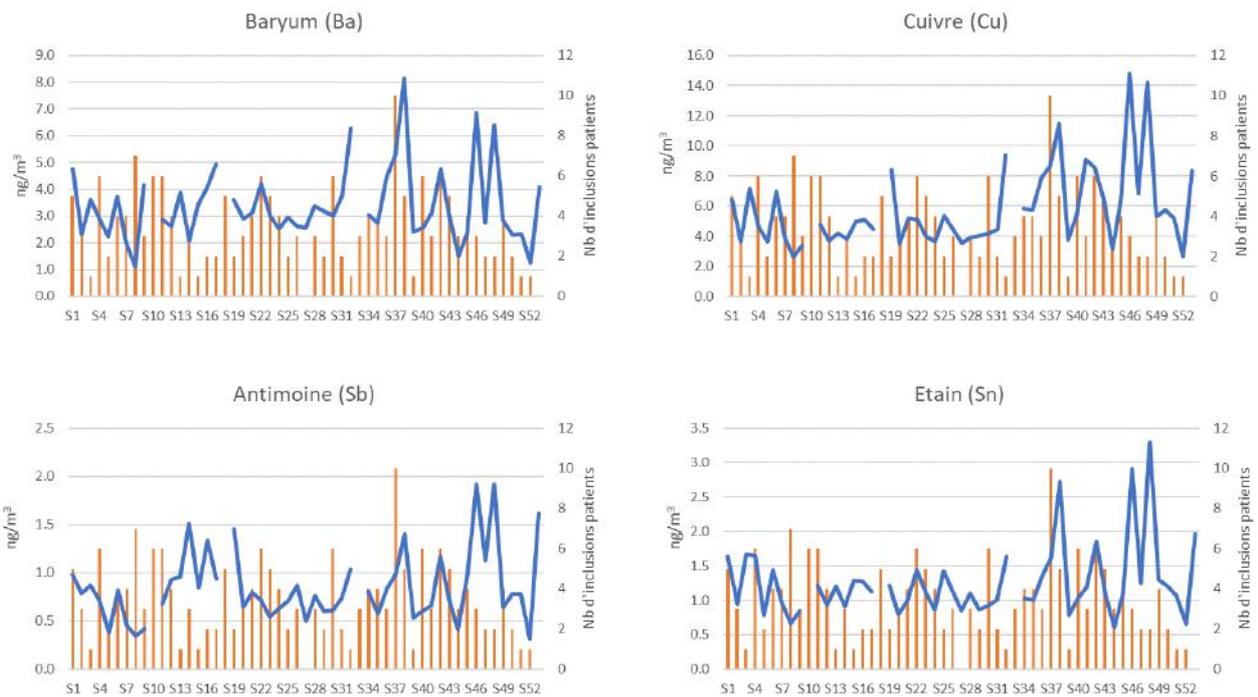


Figure 40 : Evolution des concentrations en métaux issus du trafic routier au regard des inclusions patients en 2020

Fioul lourd

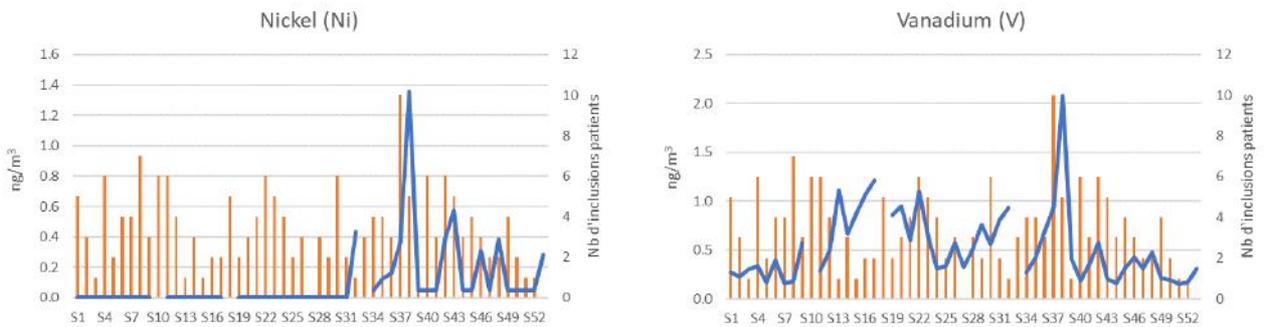
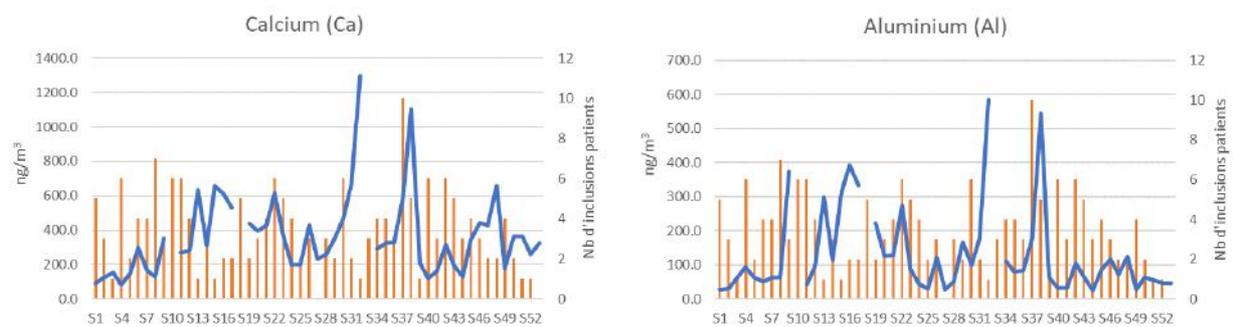


Figure 41 : Evolution des concentrations en métaux issus du fioul lourd au regard des inclusions patients en 2020

Poussières minérales



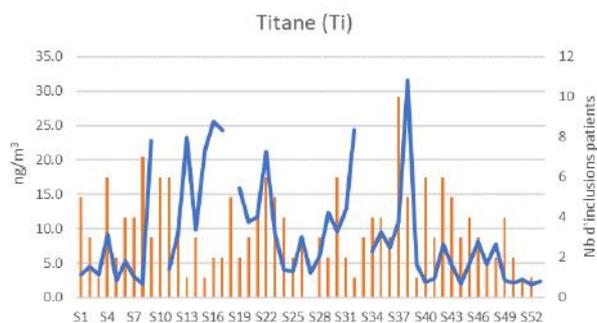


Figure 42 : Evolution des concentrations en métaux issus des poussières minérales au regard des inclusions patients en 2020

Corrélation entre les inclusions de patients et les données moyennes hebdomadaires en métaux

La distribution montre que le nombre des inclusions patients est de 67 et 73, respectivement pour les concentrations en métaux entre 1-2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 2-3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

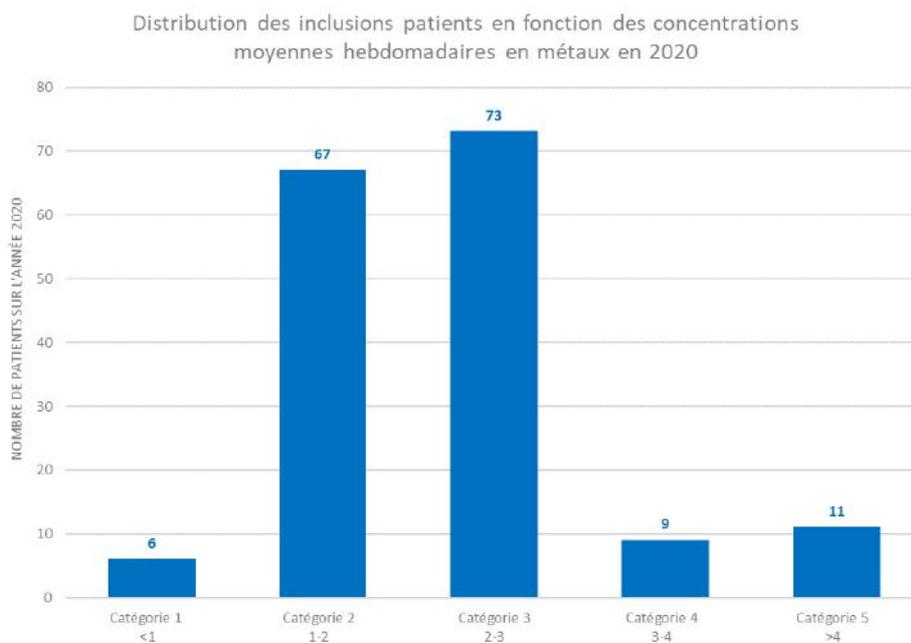


Figure 43 : Distribution des inclusions patients en fonction des concentrations moyennes hebdomadaires en métaux en 2020

Le graphique de corrélation ne montre pas de corrélation significative entre concentrations moyennes en métaux totaux et inclusions patients.

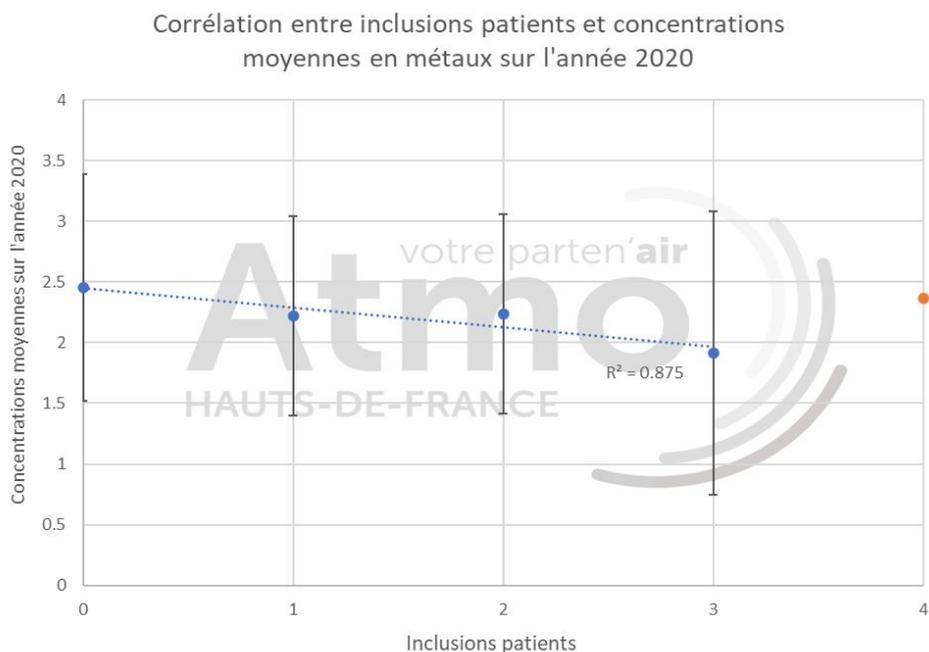


Figure 44 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes totales en métaux en 2020

Les graphiques de corrélation entre les différentes espèces métalliques et le nombre d'inclusions patients sont présentés dans les Figures 45-48.

Industrie :

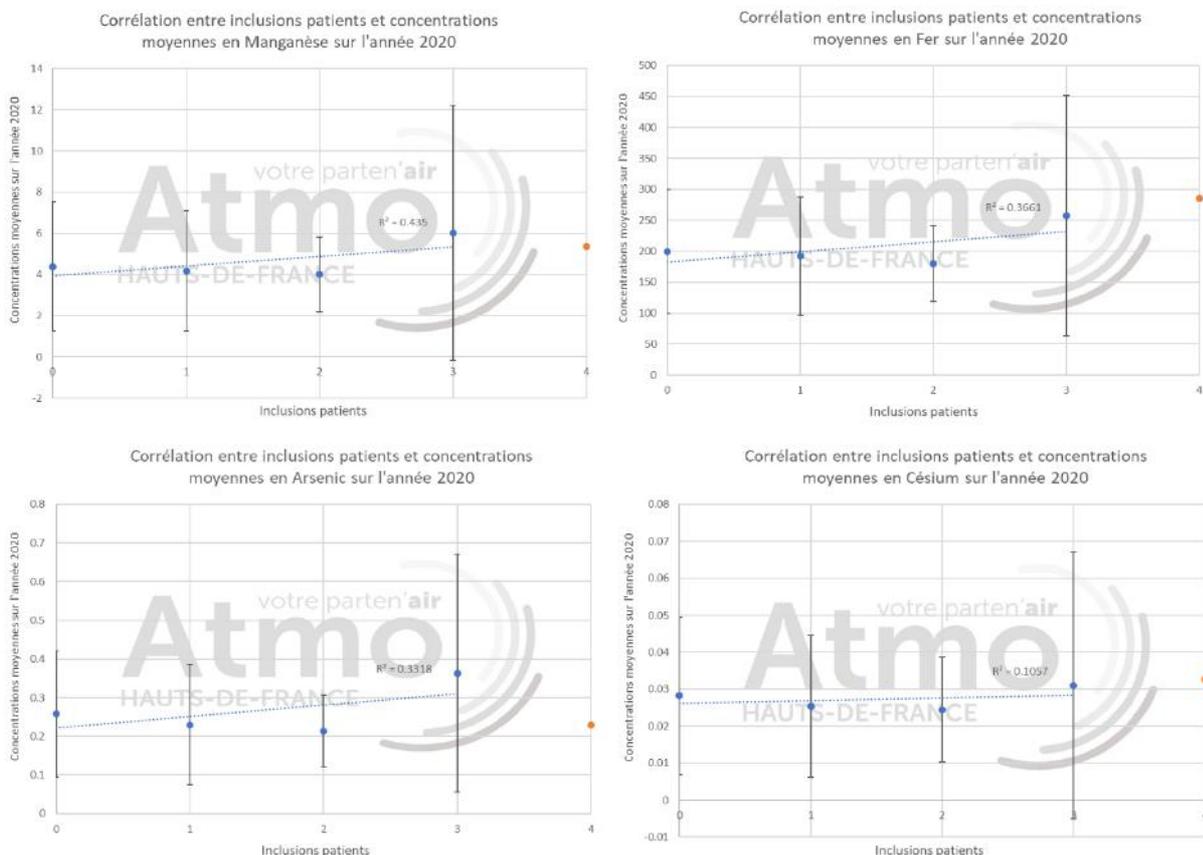


Figure 45 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en métaux issus du secteur industriel en 2020

Trafic routier :

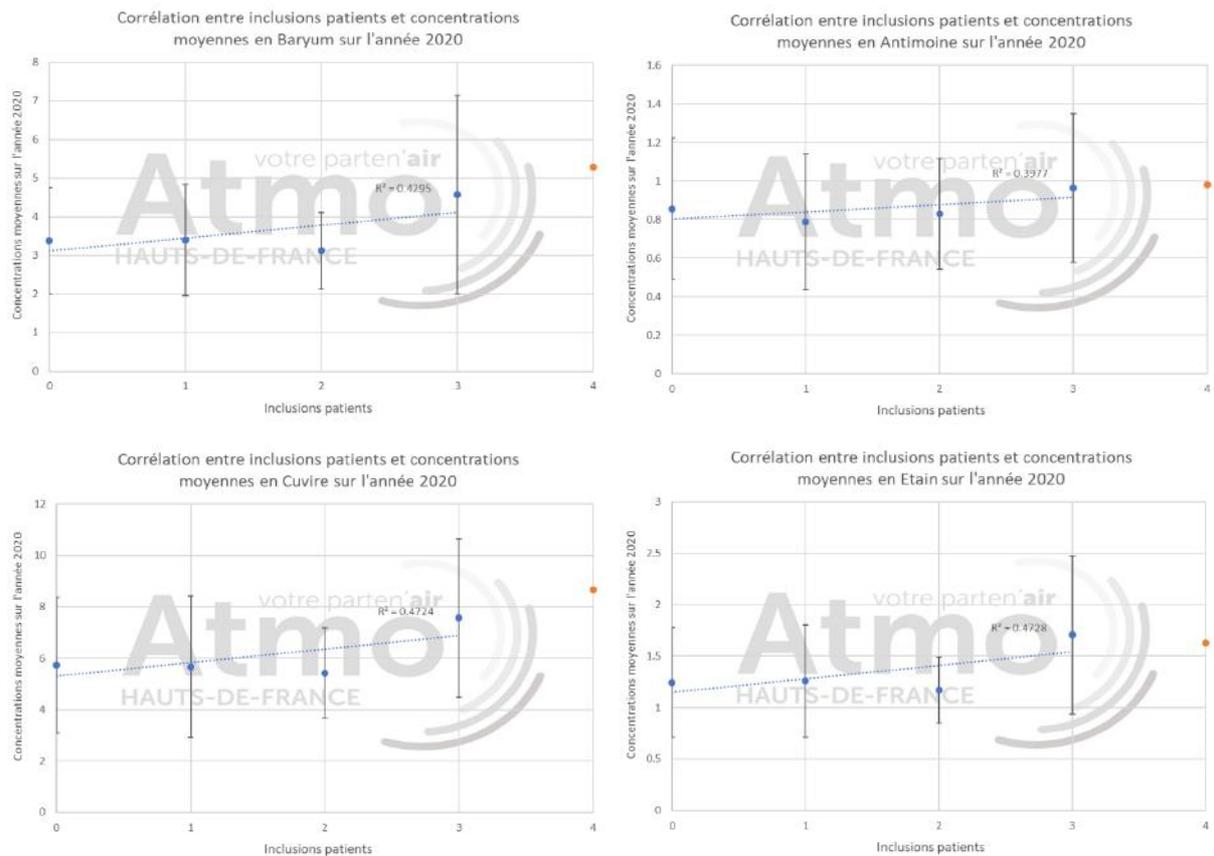


Figure 46 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en métaux issus du trafic routier en 2020

Fioul lourd :

Il n'y a pas d'analyse sur Nickel (Ni) car peu de données sont disponibles pour cette étude. Environ 60% d'analyses sont inférieures à la limite de détection.

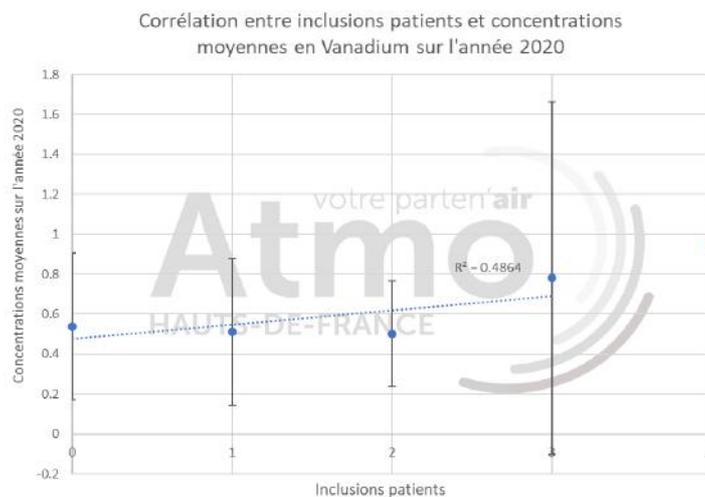


Figure 47 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en métaux issus du fioul lourd en 2020

Poussières minérales :

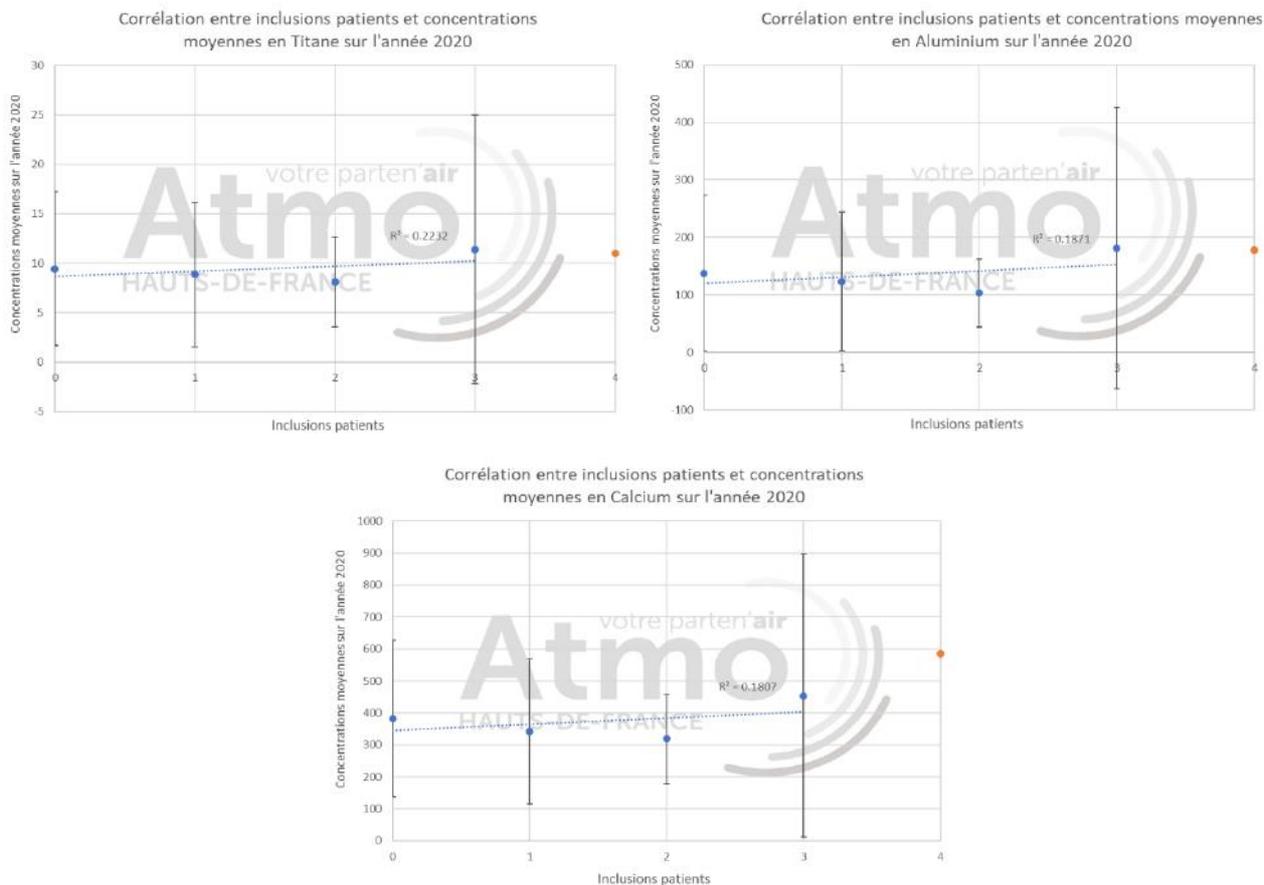


Figure 48 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en métaux issus des poussières minérales en 2020

Les graphiques de concentrations moyennes hebdomadaires ne permettent pas de mettre en valeur une corrélation entre concentrations en métaux totaux et inclusions patients.

Néanmoins, les graphiques de corrélation avec l'espèce individuelle permettent de faire ressortir, malgré des R² bas (0.4-0.5), des tendances de corrélation positive entre certains métaux et les inclusions patients (manganèse, fer, baryum, antimoine, cuivre, étain, vanadium).

Métaux réglementés :

4 métaux réglementés sont également étudiés dans cette étude. L'Arsenic (As) et le Nickel (Ni) sont déjà présentés aux Figures 45 et 47. Les graphiques de corrélations de Cadmium et de Plomb sont montrés sur la Figure 49.

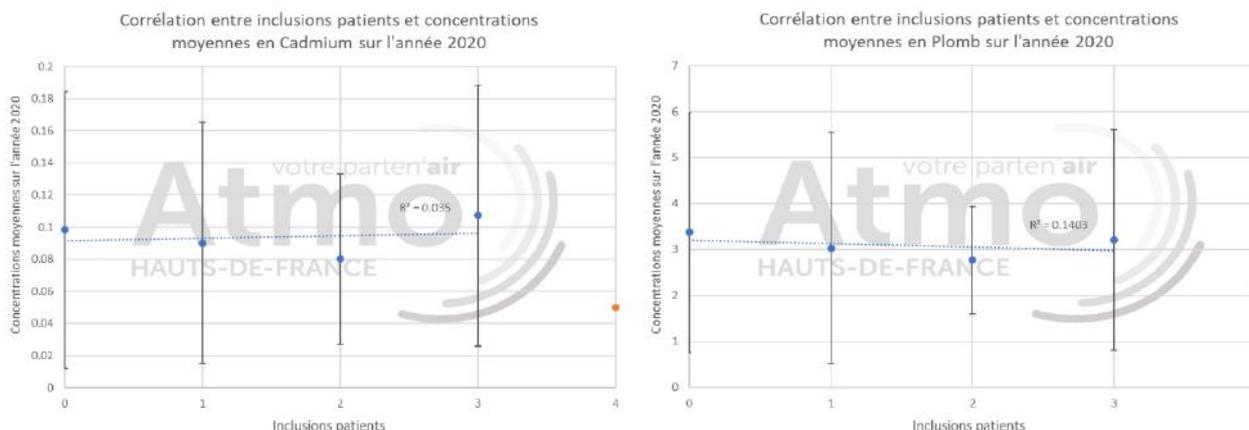


Figure 49 : Corrélation entre inclusions patients et concentrations moyennes en métaux réglementés en 2020

Parmi les 4 métaux réglementés, les graphiques de corrélation ne montrent pas de corrélation significative entre concentrations moyennes en métal et inclusions patients.

☐ Traitement statistique

Des corrélations entre plusieurs métaux lourds ont plus être retrouvées :

- Le manganèse et le césium à plus de 90%,
- Le manganèse et le fer à plus de 90%,
- Le manganèse et l'aluminium à 87%,
- Le manganèse et le titane à 90%,
- Le manganèse et le vanadium à 87%,
- Le cuivre et l'étain à 80%,
- L'arsenic et l'antimoine à 80%.

Métaux pris en compte dans l'analyse : le manganèse, l'arsenic, le cuivre, le cadmium et le baryum. Leurs résultats ont été associés aux autres métaux qui leurs sont corrélés. A noter que les valeurs du nickel n'ont pu être analysées, car majoritairement en dessous du seuil de détection et donc non exploitables.

Il existe un lien significatif entre la concentration de manganèse et les consultations aux urgences pour exacerbations de BPCO au seuil de 5% avec $p = 0,0342$. L'augmentation d'une unité de manganèse augmente le nombre d'exacerbations de BPCO de 22%.

Grâce aux corrélations mises en évidence pour les métaux entre eux, nous pouvons conclure **qu'il existe également :**

- **une corrélation entre le césium, le fer, le vanadium, l'aluminium, le titane,**
- **une corrélation inverse entre l'antimoine et l'arsenic,**

et les consultations aux urgences pour exacerbations de BPCO.

De plus, **il existe également un lien significatif, mais avec une relation inverse, pour le cadmium $p = 0,0055$, et l'arsenic $p = 0,0345$** . L'augmentation du cadmium et de l'arsenic est associée à une baisse du nombre d'exacerbations. Néanmoins, les taux les plus élevés de ces molécules survenaient au moment des périodes de confinement (périodes où les patients sont peu sortis et ont donc été peu exposés).

Enfin, concernant les autres métaux lourds, il n'y a pas de lien significatif entre leur concentration et les consultations aux urgences pour exacerbation de BPCO. En effet, pour le baryum, $p = 0,2134$, et pour le cuivre $p = 0,8887$.

Grâce aux corrélations mises en évidence pour les métaux entre eux, nous pouvons conclure qu'il n'existe pas de corrélation entre l'étain (corrélé au cuivre) et les consultations aux urgences pour exacerbation de BPCO.

Les graphiques de concentrations moyennes hebdomadaires ne permettent pas de mettre en valeur une corrélation entre concentrations en métaux et inclusions patients. Les graphiques de corrélation permettent néanmoins de faire ressortir, malgré des R^2 bas, des tendances de corrélation entre certains métaux et les inclusions patients (manganèse, fer, baryum, antimoine, cuivre, étain et vanadium).

Les résultats statistiques montrent un lien significatif entre inclusions patients et concentrations de certains métaux : manganèse, césium, fer, vanadium, aluminium et titane.

5.4. Surveillance des pollens

5.4.1. Bilan de la surveillance

Au cours de l'année 2020, la surveillance pollinique s'est déroulée du 29 Janvier au 15 Septembre, soit 31 semaines de mesure, sur le capteur de Boves.

En 2020, le nombre total de grains comptés est légèrement supérieur à 2019, de l'ordre de 30%, cependant bien inférieur à l'année 2018.

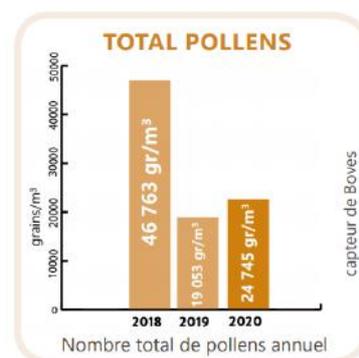


Figure 50 : Evolution du nombre total de grains pour la surveillance pollinique entre 2018 et 2020

Le bilan chiffré de l'année 2020 est présenté ci-dessous :



Figure 51 : Bilan chiffré de la surveillance pollinique dans l'Aisne, l'Oise et la Somme en 2020

5.4.2. Corrélation des pics de patients aux comptages journaliers en pollens

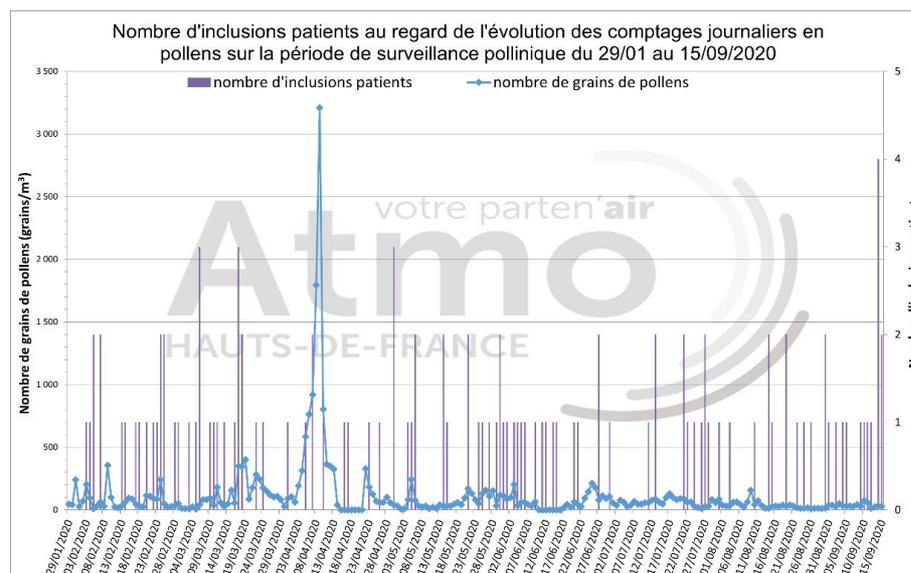


Figure 52 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution des comptages journaliers en pollens sur la période de surveillance pollinique du 29/01 au 15/09/2020

Le bilan pollinique montre un nombre de grains compté plutôt faible, hormis en avril. En effet, le 08 avril a été marqué par une grande quantité de grains comptés. Cependant, le nombre d'inclusions n'a pas réagi à ce pic de pollens, ne montrant donc pas de corrélation entre les deux variables.

5.4.3. Evaluation de l'exposition des patients au regard du Risque d'Exposition aux Allergènes Polliniques (RAEP)

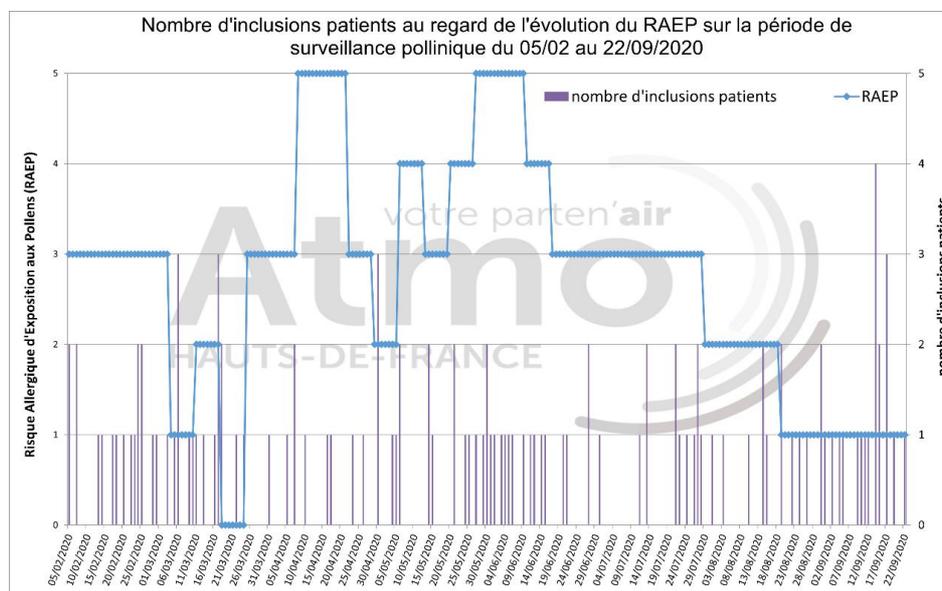


Figure 53 : Nombre d'inclusions patients au regard de l'évolution du RAEP sur la période de surveillance pollinique du 05/02 au 22/09/2020

Le bilan allergique n'a pas montré de lien entre inclusions patients et RAEP (cf. *Glossaire*) élevé. En effet, les périodes durant lesquelles ce dernier était le plus élevé (avril et juin) n'ont pas vu leur nombre d'inclusions augmenter.

Traitement statistique

Il n'y a pas de lien significatif entre les comptages journaliers en pollens ($p = 0,61$) et le nombre de consultations aux urgences pour exacerbations de BPCO.

Les résultats graphiques et statistiques ne permettent pas de conclure sur un lien entre augmentation des concentrations en pollens et inclusions patients. Le pic de consultations début avril 2020 pourrait être expliqué par l'importance des pollens, avec un pic en grains concomitant de 3 208 grains par m³.

5.5. Surveillance des nuisances olfactives

5.5.1. Bilan de surveillance en 2020

Au cours de l'année 2020, **356** déclarations d'odeurs ont été recensées :

- 139 signalements du réseau de Nez (odeur ressentie ou absence d'odeur ressentie),
- 217 déclarations spontanées du grand public, via l'application ODO.

S'agissant des patients inclus en janvier 2020, un regard a été porté sur les déclarations enregistrées en décembre 2019.

Signalements d'odeurs en 2020	Décembre 2019	1 ^{er} Trimestre	2 ^{ème} Trimestre	3 ^{ème} Trimestre	4 ^{ème} Trimestre
Réseau de Nez	4	25	11	36	3
Déclarations publiques	0	40	68	91	17
TOTAL	4	65	79	127	20

Tableau 14 : Nombre de signalements d'odeurs entre décembre 2019 et décembre 2020

5.5.2. Corrélation des pics de patients aux déclarations journalières de nuisances olfactives

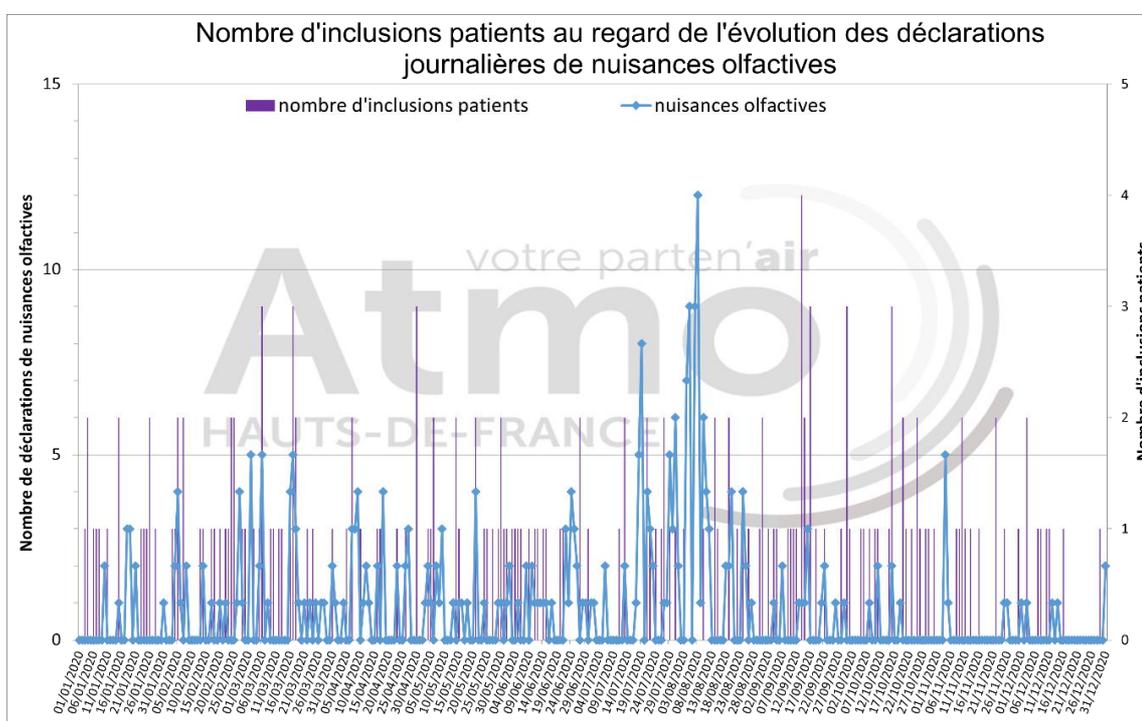


Figure 54 : Nombre d'inclusions patients pour l'année 2020, au regard de l'évolution des déclarations journalières de nuisances olfactives

Durant l'année 2020, de manière générale, peu de déclarations de nuisances olfactives ont été réalisées. Le maximum a été atteint en août, où 12 signalements d'odeurs ont été déclarés. Durant cette période, aucun pic de consultation n'a eu lieu, ne permettant donc pas de mettre en évidence un lien entre ces deux variables.

La corrélation des pics de consultations aux déclarations journalières d'odeurs n'a pas donné de résultats graphiquement et statistiquement significatifs.

6. Le lieu de résidence a-t-il un impact sur la pathologie ?

Les cartes ci-dessous reprennent les cartes de modélisation fine échelle sur la région Hauts-de-France, avec un zoom sur le territoire Amiénois, et un croisement à l'adresse des patients du CHU Amiens-Picardie et de la Clinique de l'Europe atteints de BPCO, inclus dans l'étude pour exacerbations. Ces adresses sont représentées par des cercles (localisation des patients), les numéros correspondant au code des patients inclus dans l'étude.

6.1. Dioxyde d'azote

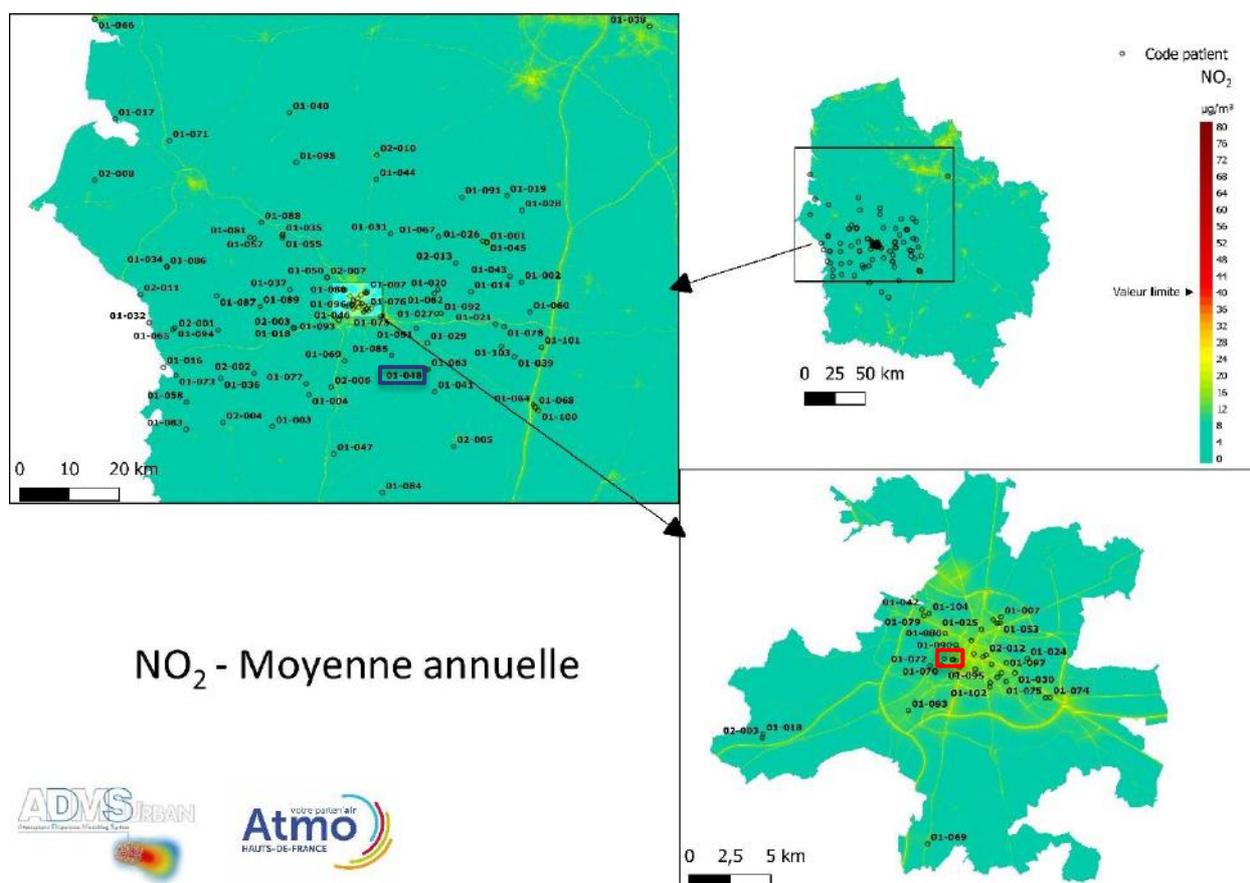


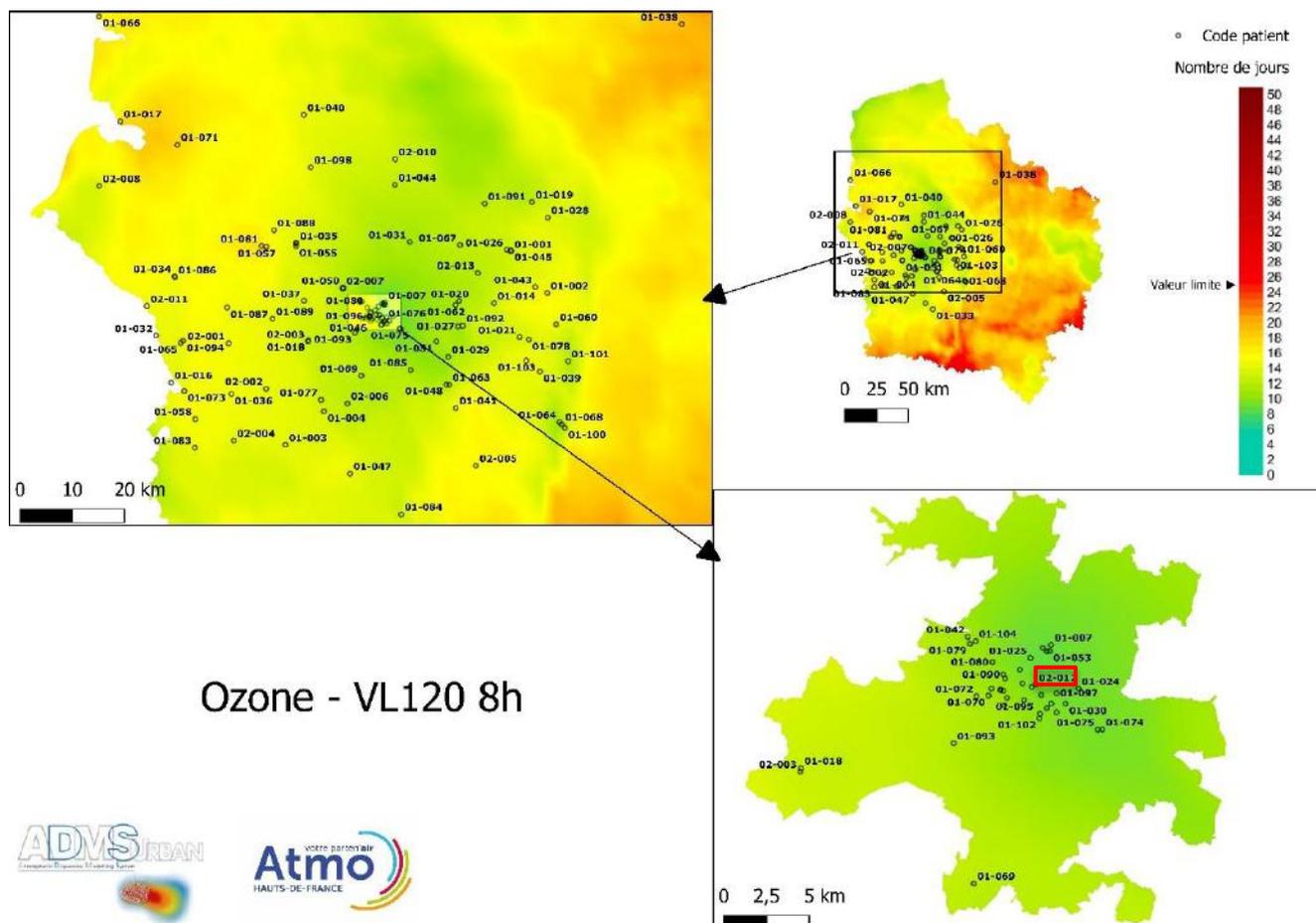
Figure 55 : Zoom de la carte annuelle 2020 de modélisation pour le NO₂ sur Amiens avec localisation des patients et concentrations modélisées à leurs adresses (comparaison à la valeur limite annuelle de 40 µg/m³)

Au sein du territoire amiénois, le principal contributeur d'oxydes d'azote est le secteur des **Transports** (partie 4.2.1), responsables de **63 %** des émissions du territoire. Du fait d'un temps de vie court dans l'atmosphère, les concentrations à proximité des sources d'émissions sont donc plus élevées.

La carte ci-dessus illustre bien cette influence, où l'on peut voir que les patients les plus exposés résident à proximité ou au sein de l'agglomération amiénoise, le long des axes routiers à circulation dense. A l'inverse, les patients résidant dans la périphérie, ainsi qu'à la campagne, sont les moins exposés. Néanmoins, lorsque ces derniers sont situés à proximité de routes à fort trafic en zone périurbaine et rurale, ils sont également susceptibles d'être exposés à des concentrations plus élevées en NO₂. La valeur d'exposition maximale en NO₂ est obtenue à Amiens, de l'ordre de **25,4 µg/m³**, pour le patient **01-049**. Selon le détail des inclusions patients, celui-ci a été inclus **trois fois** en 2020, pour exacerbation de sa maladie. En périphérie de la ville, pour le patient

01-048 par exemple au Sud-Est, la concentration en NO₂ associée est de **8,3 µg/m³**, inclus quant à lui **une fois** seulement durant cette année, montrant un potentiel lien entre concentrations et fréquence des inclusions. L'**IDEC** (Industrie, déchets, énergie et construction), second contributeur d'oxyde d'azote, est responsable de **17%** des émissions du territoire, contre 14% pour le secteur Résidentiel-tertiaire. En conséquence, les patients résidant au sein de structures urbaines sont plus soumis à des concentrations plus élevées en NO₂ par ces diverses sources, en comparaison aux zones rurales.

6.2. Ozone



Ozone - VL120 8h



Figure 56 : Zoom de la carte annuelle 2020 de modélisation pour l'O₃ sur Amiens avec localisation des patients et concentrations modélisées à leurs adresses

Sur l'année 2020, les cartes modélisées montrent que le territoire amiénois fait partie des moins touchés par de fortes concentrations en ozone de la région.

A l'inverse du NO₂, les patients les plus touchés par des concentrations élevées en ozone ne se situent pas au sein des structures urbaines, mais en zone périurbaine et rurale. La concentration maximale de **18,7 µg/m³** est enregistrée à Waziers, pour le patient **01-038**, soit le plus éloigné du territoire amiénois au Nord-Est, admis **une fois**, contre **8,9 µg/m³** pour le patient **02-012** résidant à Amiens, admis **deux fois** en 2020. En effet, l'ozone est appelé polluant secondaire, autrement dit il est formé par des réactions entre le dioxyde d'azote et des composés organiques volatils (COV), sous influence du rayonnement solaire et des fortes températures. Avec une durée de vie de l'ordre de quelques jours, il peut être transporté sur de plus longues distances, contrairement au NO₂. Ses valeurs maximales ne sont donc pas observables à proximité des sources, mais plutôt en retrait, à l'extérieur des zones urbaines.

6.3. Particules PM10

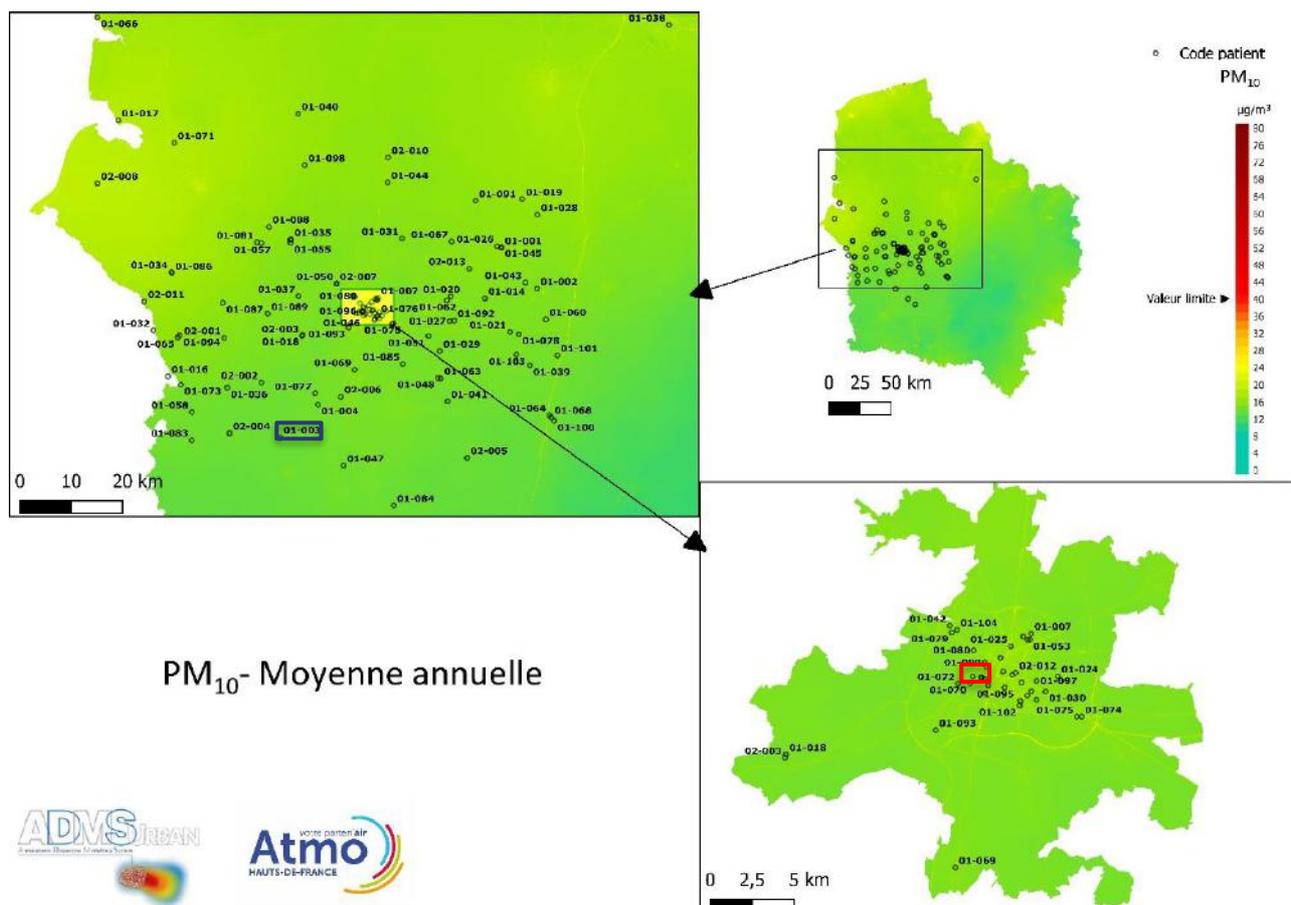


Figure 57 : Zoom de la carte annuelle 2020 de modélisation pour les particules PM10 sur Amiens avec localisation des patients et concentrations modélisées à leurs adresses (comparaison à la valeur limite annuelle de 40 µg/m³)

Sur le territoire d'Amiens, le principal émetteur de particules PM10 est le **Résidentiel-Tertiaire**, de l'ordre de **32%**, suivi de manière équitable par les **Transports et le secteur agricole**, y participant à **28%**.

Le patient le plus exposé aux PM10 (**01-049** avec **20,1 µg/m³**) réside non loin d'une artère importante d'Amiens, le boulevard de Châteaudun. De plus, il a été admis **trois fois** en 2020 pour exacerbation. Cette proximité du centre-ville et des axes de communication implique des expositions à des émissions résidentielles, ainsi que des transports, les secteurs les plus émetteurs en PM10 du territoire. Le second patient le plus exposé (02-008 avec **19,3 µg/m³**) ne réside pas au centre-ville, mais au contraire à proximité du littoral, à Offeux. Dans cette zone, l'exposition aux PM10 est plutôt due aux conditions météorologiques propres aux territoires côtiers. Il a été admis quant à lui **2 fois** durant l'année 2020.

Inversement, le patient le moins exposé aux particules PM10 (**01-003** avec **14,1 µg/m³**), admis également **2 fois** au cours de l'année, réside en périphérie de l'agglomération amiénoise, au Mesnil Conteville. Sur ce secteur, les émissions résidentielles l'emportent sur les émissions issues du trafic.

6.4. Particules PM2.5

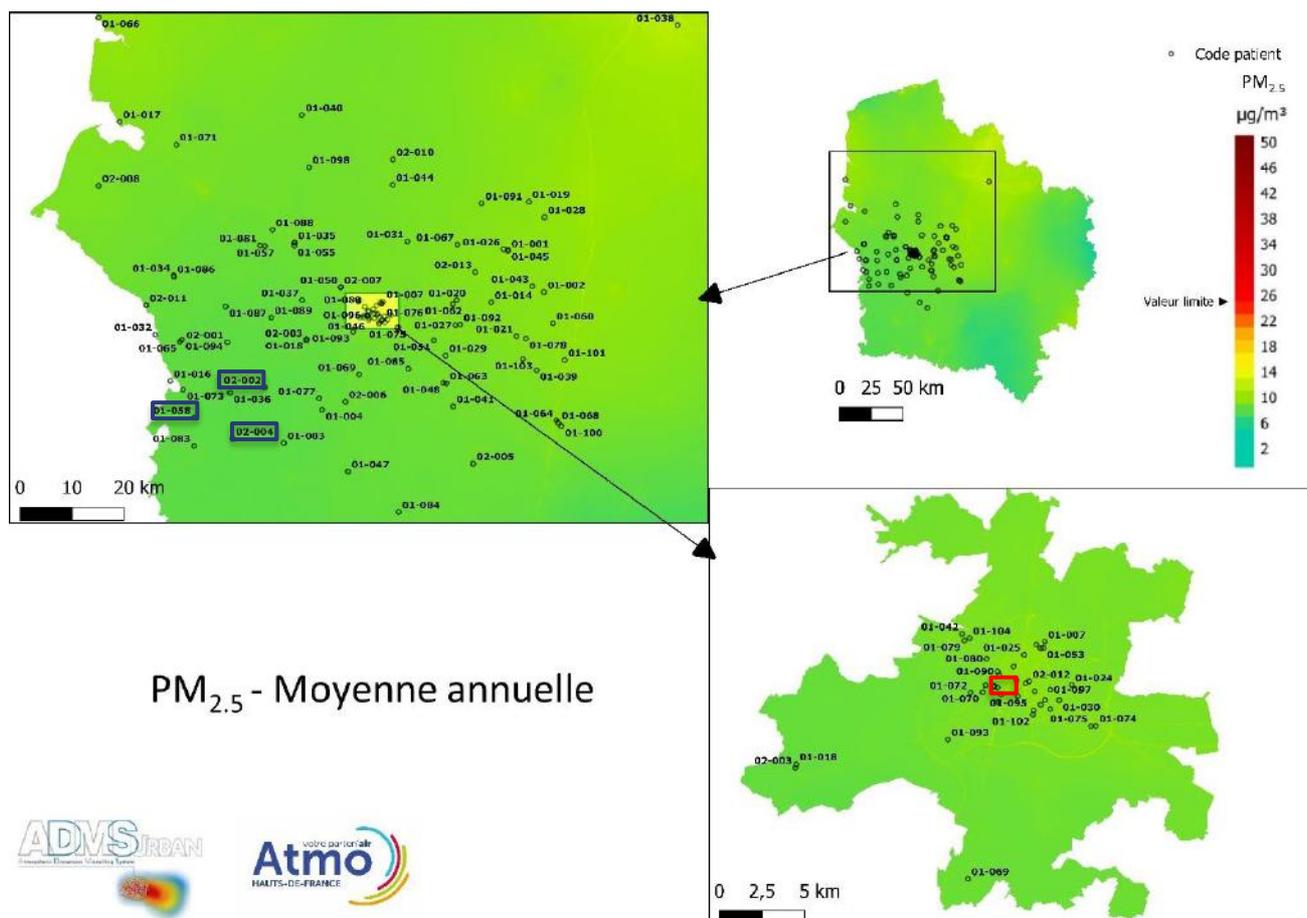


Figure 58 : Zoom de la carte annuelle 2020 de modélisation pour les particules PM_{2.5} sur Amiens avec localisation des patients et concentrations modélisées à leurs adresses (comparaison à la valeur limite annuelle de 25 µg/m³)

Au sein de l'agglomération d'Amiens, le principal secteur émetteur de particules PM_{2.5} est le **Résidentiel-Tertiaire**, y contribuant à **47%**, suivi par les **Transports (29%)**. L'IDEC et l'agricole y participent de manière bien moins importante, respectivement de l'ordre de **12** et **14%**. Les patients résidant au sein et à proximité de l'agglomération sont les plus exposés aux concentrations. **94%** des patients du territoire des Hauts-de-France sont exposés à des concentrations en PM_{2.5} **inférieures à 10 µg/m³**.

Le patient le plus exposé aux PM_{2.5} (01-038 avec **11,5 µg/m³**) réside à Waziers (secteur Douais), soit le point le plus éloigné de la métropole amiénoise. Il n'a été admis qu'**une seule fois** en 2020 pour exacerbation. Ce dernier se trouve à proximité de sources d'émissions résidentielles, mais également issues du trafic. On retrouve le patient **01-049** comme étant le second plus exposé aux PM_{2.5}, de l'ordre de **10,8 µg/m³**, admis pour rappel **3 fois** en 2020.

Les concentrations les plus faibles se situent en périphérie de la ville, en zone rurale, dans laquelle les sources issues du trafic et du résidentiel ne sont pas prépondérantes. Au Sud - Ouest de l'agglomération amiénoise se situent les patients les moins exposés aux PM_{2.5}, de l'ordre de **8 µg/m³**: **01-058**, **02-002** et **02-004** (admis **1 seule fois**, sauf 02-002 admis **2 fois**) résidant respectivement à Romescamps, Blangy-sous-Poix et Sarnois.

La modélisation des concentrations en polluants, au domicile des patients, a pu montrer que :

- ***Les patients les plus exposés aux concentrations en NO₂ se trouvent en milieu urbain, près des grandes agglomérations, dans lesquelles les émissions en oxydes d'azote sont importantes.***
- ***A contrario, c'est en zones périurbaine et rurale que l'on retrouve des concentrations plus élevées en O₃, auxquelles les patients atteints de BPCO risquent d'être exposés, ce qui coïncide avec son processus de formation, ce polluant étant un polluant secondaire.***
- ***Les patients les plus exposés aux particules PM10 se situent de manière générale à proximité d'axes routiers importants, dont la circulation comprenant l'abrasion des pneus peut engendrer des émissions importantes de particules. Les zones littorales sont également des lieux dans lesquels des patients peuvent être exposés.***
- ***Enfin, les patients les plus exposés aux particules PM2.5 sont domiciliés près des deux principales sources d'émissions de ce polluant, autrement dit les axes à fort trafic ou des zones résidentielles.***

7. Conclusion et perspectives

En 2017, Atmo Hauts-de-France a publié une étude en collaboration avec le CHU Amiens-Picardie, évaluant l'impact de la qualité de l'air sur les exacerbations d'une maladie respiratoire appelée Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO) dans la Somme. Ce travail découle de nombreuses études montrant un lien potentiel entre qualité de l'air et BPCO. De plus, la région est touchée par un excès de mortalité et d'hospitalisation pour exacerbation de BPCO, ainsi qu'une exposition élevée en particules PM2.5.

Les résultats statistiques et graphiques de l'étude PolluBPCO ont révélé un lien entre épisodes de pollution en PM2.5, PM10, NO₂ ainsi qu'en O₃ et les consultations aux urgences pour exacerbation de BPCO. En outre, la grippe a eu un impact non négligeable dans cet excès de consultations (pics de janvier-février et décembre). Au regard de ces constats, Atmo Hauts-de-France et le CHU Amiens-Picardie ont décidé de poursuivre leurs recherches, via l'étude BEPoPi (Bpc Exacerbation Pollution Picardie), incluant des polluants supplémentaires : les particules ultrafines (PUF), le Black Carbon (BC) et 35 métaux présents dans les particules PM10.

Menée en 2020, l'étude a été marquée par la situation inédite liée à la pandémie de COVID-19. Les confinements successifs ont influencé les émissions et les concentrations de certains polluants dans l'atmosphère. Au sein des établissements de santé, l'activité programmée non urgente s'est arrêtée. Face à cela, les patients atteints de BPCO ont naturellement préféré l'auto-confinement, afin d'éviter d'être infectés par le virus, et ont porté des masques chirurgicaux durant cette période, conformément protocole gouvernemental, ces deux aspects ayant diminué leur exposition aux polluants atmosphériques.

Entre le 1er janvier et le 31 décembre 2020, 268 consultations aux urgences (CHU Amiens-Picardie et Clinique de l'Europe) pour exacerbations de BPCO ont été enregistrées. Au total, 180 inclusions ont été conservées dans l'analyse, correspondant à 110 patients (un même patient pouvant être inclus plusieurs fois). 24,5% étaient des femmes et 75,5% des hommes. L'âge moyen de la population était de 67,1 ans. Parmi les 180 passages analysés, 91,1% ont eu lieu aux urgences du CHU Amiens-Picardie et 8,9% aux urgences de la Clinique de l'Europe. Le nombre moyen de consultation aux urgences pour exacerbation de BPCO était de 0,5 patient par jour contre 0,65 patient par jour pour PolluBPCO.

Durant l'année 2020, les valeurs limites annuelles réglementaires sur le territoire d'Amiens Métropole aux stations d'Amiens Saint-Pierre (urbaine), Salouël (périurbaine) et Amiens 14 juillet (trafic) ont été respectées pour le NO₂, et les particules PM10, malgré le déclenchement d'épisodes de pollution aux PM10 durant l'année. En revanche, l'objectif de qualité pour les particules PM2.5 (10 µg/m³ en moyenne annuelle) n'a pas été respecté. Cela renvoie à la problématique des particules PM2.5 dans la région dont les concentrations sont particulièrement élevées en comparaison du reste de la France. De plus, l'objectif à long terme pour la protection de la santé pour l'O₃ (120 µg/m³ à ne pas dépasser en moyenne journalière sur 8 heures glissantes) n'a également pas été respecté.

Le nombre d'épisodes de pollution dans la région Hauts-de-France a diminué de moitié en 2020, avec 11 épisodes (28 jours) contre 23 épisodes (51 jours) en 2019. Le département de la Somme est concerné par 5 épisodes, dus majoritairement aux concentrations en particules PM10, soit 20 jours. L'O₃ comptabilise 2 épisodes de pollution de 5 jours couplés aux particules PM10 et de 3 jours seuls. Aucun épisode de pollution n'est lié au dioxyde de soufre et au dioxyde d'azote. Le 1^{er} trimestre enregistre un épisode de 2 jours, le second

enregistre trois épisodes d'un total de 4 jours et enfin le troisième trimestre un double épisode de 3 jours. Aucun épisode de pollution n'a touché la Somme durant le dernier trimestre.

L'étude a permis de mettre en valeur un lien entre augmentation des concentrations en **NO₂**, particulièrement durant la période de pré confinement entre le 1^{er} janvier et le 16 mars 2020 ($p=0,2608$ sur l'année et $0,05$ avant confinement). En effet, le confinement a engendré une diminution significative des émissions d'oxydes d'azote (Etude « *Qualité de l'air et confinement*¹⁷ »), diminuant donc l'influence de ce polluant sur les exacerbations des patients atteints de BPCO. Pour les **particules ultrafines**, qui n'étaient pas prises en compte dans le rapport PolluPBCO, les résultats ont montré une tendance en faveur d'un lien entre les consultations aux urgences et les plus petites particules (moins de 50 nm), avec $p=0,35$. Ce constat est d'autant plus intéressant car de nombreuses études ont montré les effets négatifs des plus petites particules, pénétrant profondément dans l'appareil respiratoire, faisant de celles-ci les plus nocives. Les données manquantes pour les PUF en mars 2020, l'une des 2 périodes de l'année pour laquelle il y a eu le plus d'inclusions patients, n'a pas permis à l'analyse statistique de retrouver de lien significatif avec les exacerbations de BPCO, même si la tendance penche en faveur d'un lien pour les particules de petite taille (< 50 nm). L'étude des **métaux** présents dans les particules PM10 a montré un lien significatif graphique et statistique entre les concentrations en **manganèse** ($p=0,03$) et les consultations aux urgences pour exacerbations de BPCO. **L'augmentation d'1 ng/m³ de manganèse augmente le nombre d'exacerbations de BPCO de 22%**. Il existe également une corrélation entre le **césium**, le **fer**, le **vanadium**, l'**aluminium**, le **titane** et les consultations aux urgences pour exacerbation de BPCO. L'étude graphique de l'**Ozone** n'a pas pu révéler de corrélation avec les inclusions patients. Néanmoins, la période du confinement semble ici aussi influencer la puissance de la corrélation, plus forte au début de l'année ($p=0,5575$ sur l'année contre $0,07$ avant le confinement). **Les résultats du Black Carbon, des particules PM2.5 et PM10 ne montrent pas de lien significatif avec les consultations des patients pour exacerbations de BPCO, de même que pour les pollens et les odeurs.** Il est néanmoins nécessaire d'ajouter que la puissance de corrélation des PM10 suit le même comportement que pour le NO₂ et l'O₃, influencés par le confinement. Bien qu'elle ne soit pas significative, la corrélation entre augmentation des concentrations en PM10 et consultations semble exister avant le 1^{er} confinement.

Les travaux de modélisation ont permis d'établir des liens entre le lieu de résidence des patients (domicile) et leurs expositions aux polluants : exposition au NO₂ et aux particules (PM10 et PM2.5) en milieu urbain, plus particulièrement en proximité trafic, et exposition à l'O₃ en zones périurbaine et rurale. Ainsi, ces informations sont un atout dans l'accompagnement du patient, en fonction de son niveau d'exposition aux polluants.

Lorsqu'on regarde l'évolution des concentrations des polluants en comparaison avec PolluPBCO, on constate une diminution des concentrations en NO₂, PM10 et PM2.5 entre 2017 et 2020, en lien notamment avec la situation sanitaire (COVID-19) et les 2 confinements. Cependant, l'O₃ voit ses concentrations augmenter en 2020, bien que les valeurs maximales soient inférieures à 2017. Cette tendance n'est pas propre au territoire amiénois. En effet, l'augmentation des niveaux d'ozone est une problématique régionale, ce polluant étant difficilement quantifiable, du fait de sa nature de polluant secondaire, formé par des polluants précurseurs.

Cette seconde étude BEPoPi, menée sur le territoire amiénois à destination des patients BPCO, vient ainsi apporter de nouvelles informations sur les polluants auxquels ils sont exposés. Cependant, l'année 2020 a été une année particulière, limitant l'exposition des patients au travers de plusieurs facteurs :

¹⁷ https://www.atmo-hdf.fr/joomlatools-files/docman-files/Rapport_et_synthese_etudes/2021/Rapport_QA&Conf_MEL2020.pdf

- Auto-confinement : les patients BPCO ont eu tendance à rester chez eux, notamment par peur de venir consulter, et attestent avoir fait moins d'exacerbations que d'habitude.
- Effet des masques chirurgicaux : le port de ces masques par les patients BPCO a limité en partie l'influence des PM10 (grosses particules bloquées) ; afin de limiter leur exposition aux PM2.5, ainsi qu'aux plus grosses particules ultrafines (filtration jusqu'à 60 nm), ils auraient dû porter des masques FFP2. A noter qu'aucun de ces masques n'est protecteur vis-à-vis des polluants gazeux (O₃ et NO₂).

L'exposition de ces patients BPCO aux polluants atmosphériques pourrait être complétée par l'exploration de nouveaux volets tels que : pollution intérieure (visite d'une Conseillère Médicale en Environnement Intérieur et mise en perspectives sur d'autres polluants, tels que les polluants biologiques notamment), variations quotidiennes des symptômes relevées par les patients eux-mêmes (BPCO ou asthmatiques), pendant 1 an avec ainsi la possibilité d'évaluer les variations des symptômes au moment des épisodes de pollution, et prise en compte d'autres facteurs favorisant l'exacerbation de la maladie.

En attendant ces perspectives, un flyer à destination des patients souffrant de BPCO a été élaboré, sur base des 2 études menées en 2017 (PolluBPCO) et 2020 (BEPoPi). Il prodigue notamment des conseils pour une meilleure gestion de sa santé respiratoire en lien avec la pollution de l'air, afin d'éviter les exacerbations (meilleure prise en charge de leur maladie, vis-à-vis de la pollution atmosphérique).

Les travaux présentés dans le présent rapport feront l'objet d'une communication orale au congrès de pneumologie de langue française en janvier 2022.

Annexes

Annexe 1 : Glossaire

Black Carbon (BC) appelé également carbone suie, il est un polluant primaire, formé par la combustion incomplète de combustibles carbonés (combustibles fossiles, biocarburants, biomasse, etc.). Ses mesures permettent d'estimer la part du trafic automobile (carburant fossile) ou de combustion de biomasse (ex : chauffage au bois) dans les concentrations de particules

BC_{ff} : Black Carbon liées à la combustion de carburants fossiles

BC_{wb} : Black Carbon liées à la combustion de biomasse

Concentration : la concentration d'un polluant représente la quantité du composé présent dans l'air et s'exprime en masse par mètre cube d'air. Les concentrations des polluants caractérisent la qualité de l'air que l'on respire.

Emissions : rejets d'effluents gazeux ou particulaires dans l'atmosphère issus d'une source anthropique ou naturelle (exemple : cheminée d'usine, pot d'échappement, feu de biomasse...).

Episode de pollution : période pendant laquelle la procédure d'information et d'alerte a été déclenchée traduisant le dépassement du niveau d'information et de recommandations voire du niveau d'alerte pour l'un ou plusieurs des polluants suivants : SO₂, NO₂, O₃ et PM10.

Epreuves fonctionnelles respiratoires (EFR) : désignent un ensemble d'examen réalisés pour explorer la fonction respiratoire d'un patient, dans un but de comprendre un trouble respiratoire.

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques.

Métaux : éléments présents dans les particules PM10. Dans cette étude les concentrations de 35 métaux ont été analysées: Argent (Ag), Arsenic (As), Baryum (Ba), Beryllium (Be), Bismuth (Bi), Cadmium (Cd), Cérium (Ce), Cobalt (Co), Césium (Cs), Cuivre (Cu), Lanthane (La), Lithium (Li), Manganèse (Mn), Molybdène (Mo), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Palladium (Pd), Rubidium (Rb), Antimoine (Sb), Sélénium (Se), Etain (Sn), Strontium (Sr), Thorium (Th), Titane (Ti), Thallium (Tl), Uranium (U), Zinc (Zn), Chrome (Cr), Scandium (Sc), Vanadium (V), Aluminium (Al), Calcium (Ca), Fer (Fe), potassium (K), Magnésium (Mg), Sodium (Na).

mg/m³ : milligramme de polluant par mètre cube d'air. 1 mg/m³ = 0,001 g/m³ = 0,001 gramme de polluant par mètre cube d'air.

Moyenne 8 heures glissantes : Moyenne calculée à partir des 8 dernières moyennes horaires toutes les heures. Le pas de temps est égal à 1 heure et l'intervalle est de 8 heures.

NIR : Niveau d'Information et de Recommandation

NO₂ : dioxyde d'azote.

NO_x : oxydes d'azote.

O₃ : ozone.

PM10 : particules en suspension de taille inférieure ou égale à 10 µm.

PM2.5 : particules en suspension de taille inférieure ou égale à 2,5 µm.

PUF : particules ultrafines, dont la taille est inférieure ou égale à 0,1 μm .

p-value : terme anglais pour probability value. Dans un test statistique, p-value est la probabilité pour un modèle statistique donné sous l'hypothèse nulle d'obtenir la même valeur ou une valeur encore plus extrême que celle observée.

R² : coefficient de détermination. Il permet de juger de la qualité statistiques d'une régression linéaire. On l'exprime de manière générale entre 0 et 1. S'il est proche de 0, la qualité est mauvaise car aucun des points n'est corrélé à la droite de régression. S'il est proche de 0.5, alors la moitié des points peut expliquer une corrélation nette entre les deux variables. Enfin, s'il est proche de 1 la corrélation est forte.

RAEP : Le RAEP désigne le Risque Allergique d'Exposition aux Pollens. Cet indice, noté de 1 à 5, est calculé à partir de différents critères, notamment les concentrations polliniques, le stade phénologique des végétaux, les prévisions météorologiques et de l'intensité des symptômes constatés par les médecins chez leurs patients allergiques aux pollens.

SO₂ : dioxyde de soufre

Stades de BPCO : la BPCO peut être classifiée selon leur degré de sévérité :

- Stade I : léger
- Stade II : modéré
- Stade III : sévère
- Stade IV : très sévère

Une classification plus récente ABCD a été mise en place :

- A : faible risque d'exacerbations, peu de symptômes
- B : faible risque, symptômes significatifs
- C : risque élevé, peu de symptômes
- D : risque élevé, symptômes significatifs

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: microgramme de polluant par mètre cube d'air. $1 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0,001 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,001$ milligramme de polluant par mètre cube d'air.

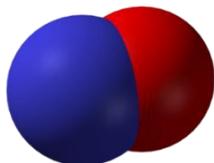
VNI : ventilation non invasive

Annexe 2 : Origines et impacts des polluants surveillés

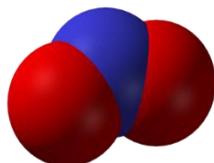
Les oxydes d'azote (NO_x)

66

Les oxydes d'azote représentent les formes oxydées de l'azote, les principaux sont le dioxyde d'azote (NO₂) et le monoxyde d'azote (NO).



Ils proviennent de la combustion de combustibles fossiles et de procédés industriels (fabrication d'engrais, traitement de surface etc.). Les principaux émetteurs sont le transport routier et les grandes installations de combustion, ainsi que les feux de forêts, les volcans et les orages.



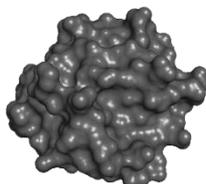
Le NO₂ est un gaz très toxique (40 fois plus que le monoxyde de carbone et quatre fois plus que le monoxyde d'azote). Il pénètre profondément dans les poumons et irrite les bronches. Chez les asthmatiques, il augmente la fréquence et la gravité des crises. Chez l'enfant, il favorise les infections pulmonaires.

Les NO_x participent au phénomène des pluies acides et à l'accroissement de l'effet de serre.

99

Les particules en suspension : PM10, PM2.5, métaux, BC et PUF

66



Les particules en suspension varient en fonction de la taille, des origines, de la composition et des caractéristiques physico-chimiques. Les particules fines **PM10** et **PM2.5** ont un diamètre respectivement inférieur à 10 micromètres (µm) et à 2,5 µm. Elles sont d'origine naturelle ou d'origine humaine.

Les particules PM10 proviennent essentiellement du chauffage au bois, de l'agriculture, de l'usure des routes, des carrières et chantiers BTP. **Les métaux** font partie des particules PM10. Ils proviennent d'activités humaines (procédés industriels, trafic routier, combustion des charbons...), et de sources naturelles (poussières minérales). Parmi cette famille de polluants, quatre sont concernés par la réglementation dans l'air ambiant en raison de leur toxicité : le plomb (Pb), l'arsenic (As), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni).

Les PM2.5 proviennent essentiellement des transports routiers et du chauffage au bois. Le **Black Carbon (BC)** appelé également carbone suie, est un polluant primaire, formé par la combustion incomplète de combustibles carbonés (combustibles fossiles, biocarburants, biomasse, etc.). Ses mesures permettent d'estimer la part du trafic automobile (carburant fossile) ou de combustion de biomasse (ex : chauffage au bois) dans les concentrations de particules.

Les **Particules ultrafines (PUF)** sont définies comme les particules dont le diamètre est inférieur à 100 nm. Dans ce rapport, PUF signifie les particules dans la gamme entre 20 nm et 800 nm. En raison de leur très petite taille, les PUF sont capables de pénétrer très profondément dans l'organisme.

Plus les particules sont fines, plus elles pénètrent profondément dans les voies respiratoires. Les PUF et les PM2.5 ont ainsi un impact sanitaire plus important que les PM10. Elles peuvent irriter et altérer la fonction respiratoire. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes du fait de leur propension à adsorber des polluants et les métaux lourds.

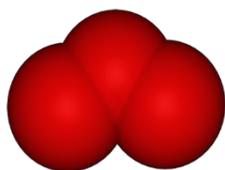
Les effets de salissure des bâtiments et monuments sont les atteintes à l'environnement les plus évidentes. Certaines particules contribueraient au réchauffement climatique.



L'ozone (O₃)

66

L'ozone est un polluant secondaire qui se forme à partir de polluants primaires émis par différentes sources de pollution (trafic automobile, activités résidentielle et tertiaire, industries) sous l'effet du rayonnement solaire.



Ainsi, les niveaux moyens relevés en ozone sont généralement plus élevés au printemps et les pics de concentrations s'observent en juillet-août. Les concentrations sont minimales en début de matinée et maximales en début d'après-midi.

On distingue l'ozone stratosphérique (altitude de 10 à 60 km) qui forme la couche d'ozone protectrice contre les UV du soleil et l'ozone troposphérique (0 à 10 km) qui devient un gaz agressif en pénétrant facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il provoque toux, altération pulmonaire ainsi que des irritations oculaires.

L'ozone a un effet néfaste sur la végétation (rendement des cultures, respiration des plantes) et sur certains matériaux (caoutchouc). Il contribue également à l'effet de serre.



Annexe 3 : Explication détaillée de la modélisation des concentrations en polluants

▣ Paramètres de la modélisation

★ Modèle

Atmo Hauts-de-France utilise pour la réalisation de ses modélisations annuelles à l'échelle régionale une chaîne de modélisation combinant le logiciel ADMS Urban et un post-traitement géostatistique. La version d'ADMS Urban utilisée pour l'étude est : ADMS Urban 5.0.0.1. Cet outil a été développé par Cambridge Environmental Research Consultants (CERC) et distribué en France par la société Numtech qui est le référent technique pour tout besoin opérationnel. Ce logiciel calcule la dispersion des polluants issus de différents types de sources, telles que les sources industrielles, résidentielles ou routières. Ces sources peuvent être modélisées sous plusieurs formes : ponctuelles, linéaires, surfaciques ou volumiques. Le modèle est donc conçu pour étudier des cas simples (par exemple l'impact d'une source ponctuelle isolée) ou plus complexes (sources d'émissions diverses et multiples sur un domaine large, par exemple une agglomération ou la région). ADMS Urban est un modèle gaussien, dans lequel la structure de la couche limite est caractérisée par sa hauteur et par la longueur de Monin-Obukhov, paramètre dépendant de la vitesse de frottement et du flux de chaleur en surface. A partir de paramètres météorologiques mesurables (vitesse du vent, couverture nuageuse, flux de chaleur...), un préprocesseur météorologique caractérise la structure de la couche limite, ce qui permet d'obtenir une représentation plus réaliste de l'évolution des conditions de dispersion avec l'altitude. ADMS Urban a fait l'objet de plusieurs études d'inter-comparaison et de validation. Plus d'informations peuvent être trouvées sur le site du CERC : <http://www.cerc.co.uk/environmental-software/ADMS-Urban-model/more.html>

★ Périodes simulées

La modélisation vient compléter les autres données de l'étude (données sanitaires et mesures de polluants). Si les calculs d'ADMS se font sur deux mois : 2020-01-15 01:00:00 au 2020-02-15 23:00:00 et 2020-08-22 01:00:00 au 2020-09-22 23:00:00, grâce aux traitements géostatistiques les cartes produites sont bien des moyennes annuelles 2020 (1er janvier au 31 décembre 2020) . Les concentrations en PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ et O₃ ont été simulées aux adresses des patients en moyennes annuelles, ce qui permet de mieux connaître l'exposition globale de ces patients.

★ Domaine de simulation

Périmètre : L'étude de modélisation reprend le périmètre de la région Hauts-de-France, sur lequel Atmo Hauts-de-France a développé un modèle fine échelle régional pour 2020 (Figure 3). L'intérêt de cet outil est de pouvoir cartographier à haute résolution la qualité de l'air sur une région, en calculant pour plusieurs polluants les concentrations et leurs évolutions sur une période d'un an. Pour cela, les sources d'émissions influentes issues des différents secteurs d'activités principaux (transport routier, fluvial et ferroviaire, résidentiel-tertiaire, industriel) sont prises en compte sur l'intégralité du périmètre de la région.

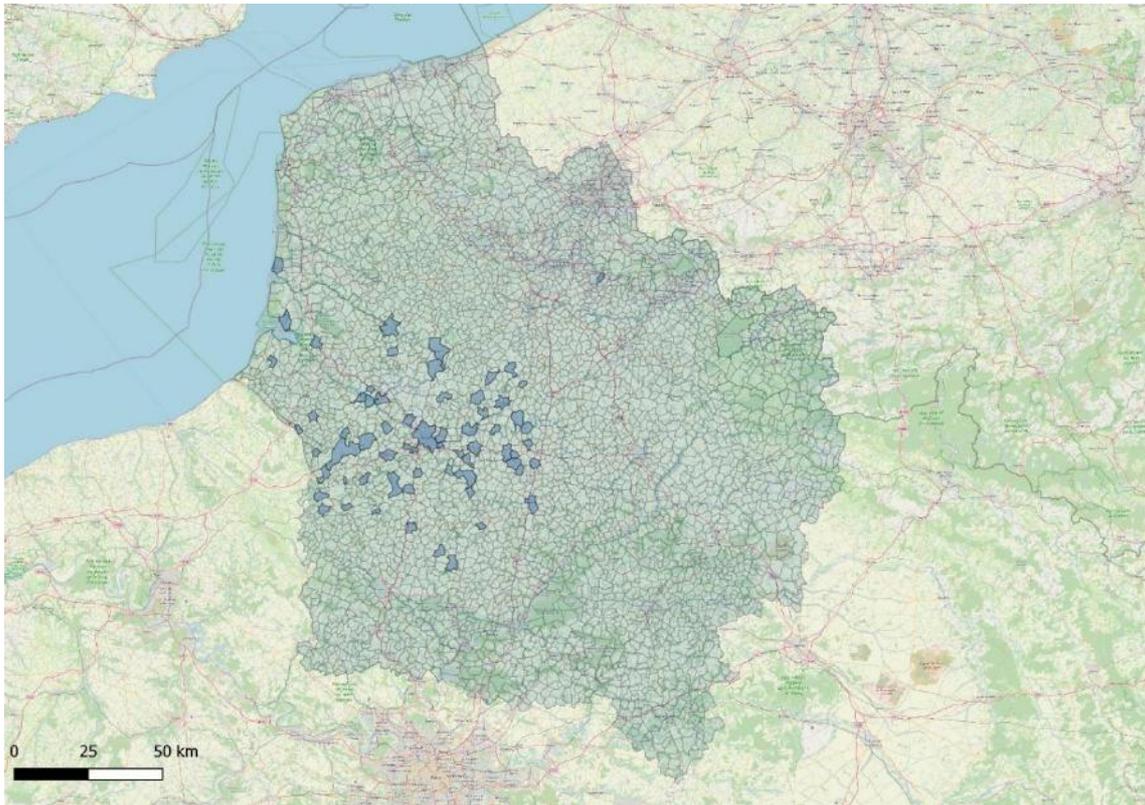


Figure 59 : Domaine de modélisation (Région Hauts-de-France) et périmètre de prise en compte des sources d'émission. Les communes qui correspondent aux adresses des patients sont soulignées en bleu foncé. Fond de carte : © les contributeurs d'OpenStreetMap

Grilles de sortie : Sur l'ensemble de la région, un maillage de points de calculs a été créé afin de pouvoir représenter finement l'impact des sources d'émissions sur une cartographie. En fonction de la localisation sur le territoire ou du type de sources à proximité, le maillage est plus ou moins resserré : par exemple, l'écart entre deux points est de 150 mètres en dehors de toute zone urbaine, mais de quelques mètres à proximité de certains axes routiers du centre-ville. L'ensemble des points définis par trois coordonnées X, Y et Z a été placé à une hauteur virtuelle Z de 1,5 mètre, désignée comme hauteur approximative de l'exposition maximale des patients car associée aux entrées (bouche, nez) du système respiratoire. Les concentrations sont donc calculées par le modèle sur l'ensemble de ces points de calcul ce qui permet ensuite, par interpolation, de projeter les résultats sur une grille régulière à 25 m et produire des **cartes de concentrations** des différents polluants réglementés sur le territoire de l'agglomération à **25 m de résolution**.

✧ Autres paramètres

Données météorologiques : Les données météorologiques mesurées sur les 33 stations Météo-France ont été utilisées et combinées à des sorties du modèle météorologique de la plate-forme de prévision ESERALDA. Les paramètres utilisés sont la vitesse (m/s) et la direction du vent (°) mesurées à 10 mètres, le taux de précipitations (mm/h) et l'humidité relative (%) ainsi que le rayonnement solaire incident (W/m^2), l'inverse longueur de Monin-Obukhov, le flux de chaleur sensible, l'épaisseur de la couche limite (m), et la température à 2 m en °C. Le préprocesseur météorologique d'ADMS Urban effectue alors les calculs heure par heure des différents paramètres caractérisant la couche limite, nécessaires pour la modélisation de la dispersion.

Concentrations de « fond » et post-traitement : La pollution de fond permet d'évaluer les concentrations de polluants en conditions initiales et aux limites du domaine de simulation, donc la part de pollution émise à l'extérieur du domaine et transportée sur la zone à modéliser. Dans ADMS urban, cela permet de mettre en œuvre son module de chimie, qui simule des réactions chimiques et photochimiques de base. En règle générale, les données utilisées sont celles d'une station de mesure périurbaine ou rurale située à proximité du domaine. Ceci est possible pour un petit domaine (comme une agglomération), mais ne l'est pas à l'échelle de la région.

Pour les cartes régionales, les concentrations de fond n'ont pas été utilisées en entrée du logiciel ADMS Urban, mais à l'étape de post-traitement géostatistique. Les données de sorties de l'ADMS sont croisées avec des données de stations fixes, mobiles et les tubes NO₂ permettant de retrouver dans le modèle les valeurs exactes aux stations.

★ Estimation de concentrations aux adresses des patients

Pour l'étude, l'objectif est de simuler précisément les concentrations des différents polluants auxquels les patients sont exposés. Il est donc nécessaire de connaître exactement l'adresse de leur lieu d'habitation. Dans ce cadre, les données recueillies par le CHU Amiens-Picardie ont été utilisées : elles ont été croisées, lorsque cela était possible, à l'API (<https://geo.api.gouv.fr/adresse>), qui permet de localiser une adresse à partir de données telles que la commune, le numéro et le nom de la rue.

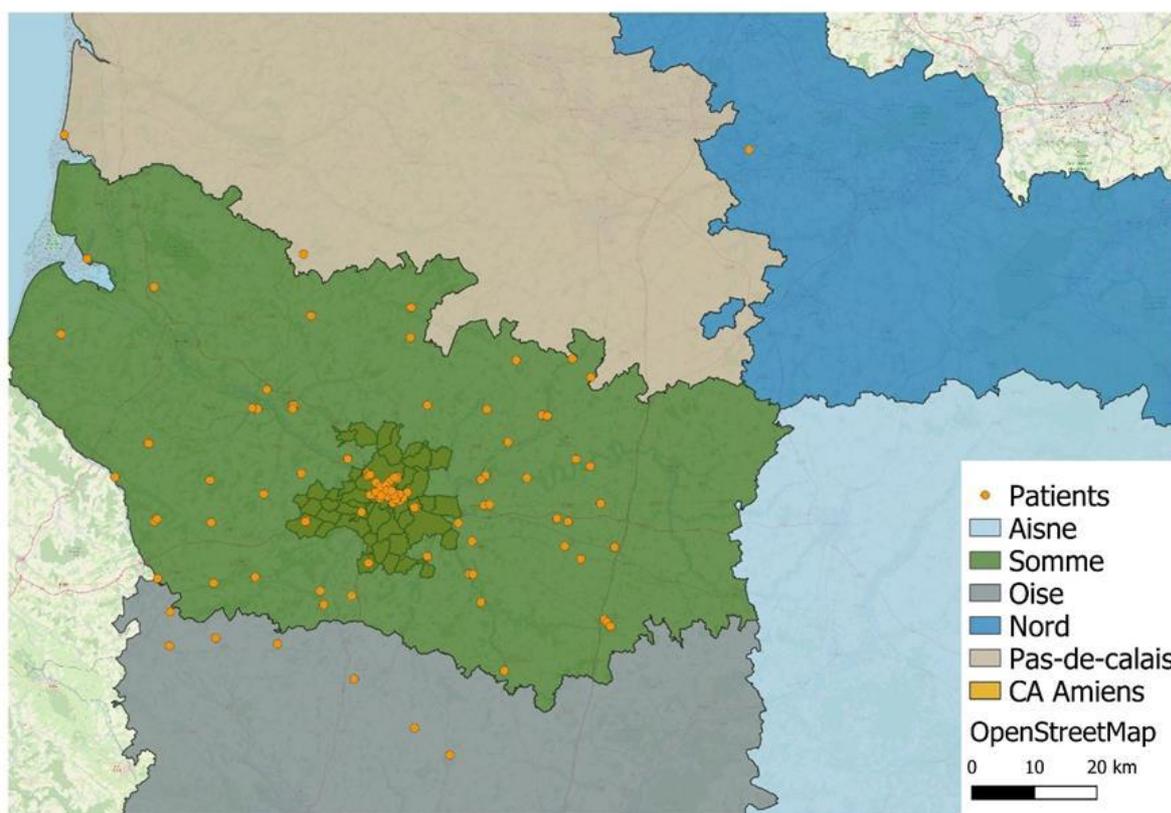


Figure 60 : Localisation des patients dans les différents départements de la région Hauts-de-France Fond de carte : © les contributeurs d'OpenStreetMap, openstreetmap.org – Couche communes : BD TOPO®2017 de l'IGN.

Sur les 112 patients de l'étude, 2 viennent de la région de Normandie et leurs adresses ne sont pas incluses dans le domaine de la modélisation. De ce fait, les coordonnées de **110 patients** ont été finalement prises en compte, dont 7 venant du département de l'Oise, 1 du département du Nord, 3 du Pas-de-Calais et 99 de la

Somme. La carte de la figure 60 montre la distribution géographique des adresses des patients. Les valeurs modélisées ont été extraites de la carte annuelle pour chaque adresse.

▣ Estimation des émissions

✧ Données d'entrée

La modélisation fine échelle intègre généralement 3 typologies de sources de pollution : les sources **linéaires** (routières, ferroviaires, fluviales), les sources **ponctuelles** (cheminées industrielles) et les sources **surfaciqes/volumiques** (habitat, agriculture...). Les sources modélisées sont donc :

- le trafic automobile, sur les axes principaux,
- l'industrie,
- le secteur résidentiel-tertiaire,
- le transport ferroviaire et fluvial,
- le secteur maritime,
- le secteur aérien,
- le secteur agricole et biotique

Les données associées à toutes les sources sont extraites de l'inventaire régional spatialisé des émissions de polluants, réalisé par Atmo Hauts-de-France et qui permet de déterminer les émissions de polluants associées à ces différentes sources sur l'ensemble de la région et leur localisation. Pour le modèle régional de l'année 2020, une extraction de cet inventaire pour les années 2015 et 2018 (versions les plus récentes disponibles ou en cours de développement au moment de la simulation) a été réalisée. Pour tenir compte de la spécificité de 2020, les variations des émissions en raison de confinements liés à la pandémie de Covid-19 ont été prises en compte pour chaque secteur et chaque polluant (via des ratios).

✧ Trafic automobile

Au total, 320205 tronçons du trafic automobile sont inclus dans le modèle (Figure 61). Une fois les comptages attribués à l'ensemble du réseau, les émissions du secteur routier ont été calculées par l'intermédiaire de l'outil Circul'air, qui utilise la méthodologie européenne de calcul des émissions du transport routier COPERT IV (COmputer Program to calculate Emissions from Road Transport, logiciel dont le développement est financé par l'Agence Européenne de l'Environnement, et basé sur la méthodologie de calcul des émissions EMEP-CORINAIR).

A partir de différents profils temporels, dépendants du type de route, les émissions du secteur routier ont été estimées pour différents polluants : NO₂, Particules PM₁₀, Particules PM_{2,5}, SO₂.

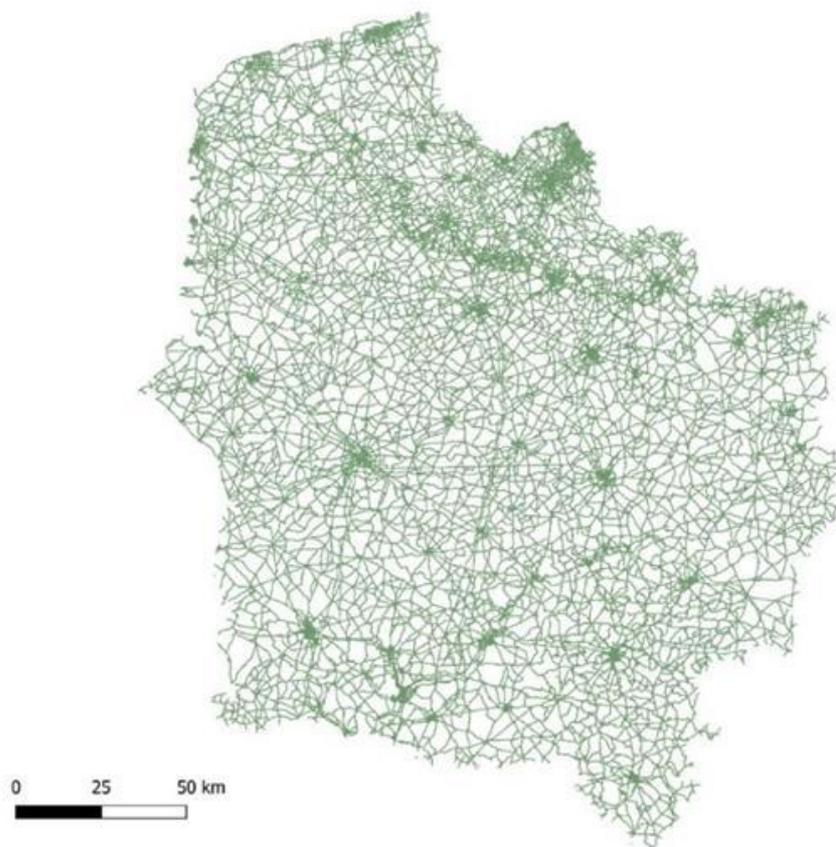


Figure 61 : Réseau routier pris en compte pour la modélisation

✦ Industrie

La description des sources industrielles et leurs émissions sont issues des déclarations annuelles des émissions et des transferts de polluants et des déchets (GEREP) pour l'année 2016, complétée par des informations transmises plus récemment par les industriels ayant fourni des données sur des années plus récentes (2017 à 2020). 724 sources ponctuelles industrielles ont ainsi été considérées pour l'étude, avec une description spécifique des paramètres d'émissions (température, hauteur, vitesse d'émission et diamètre des cheminées) obtenus directement grâce aux industriels ou à défaut, par leurs arrêtés d'exploitation. Mais l'ensemble des émissions du secteur industriel du domaine d'étude ne vient pas de quelques sources ponctuelles. Les émissions restantes sont spatialisées à la commune puis aux zones industrielles ou commerciales et installations publiques en fonction de l'occupation du sol définie par la CORINE Land Cover. Elles sont enfin agrégées à un maillage surfacique de maille régulière de 125 mètres. Sur la figure ci-dessous, la localisation des 724 sources industrielles ponctuelles (en orange) prises en compte est projetée sur une carte.

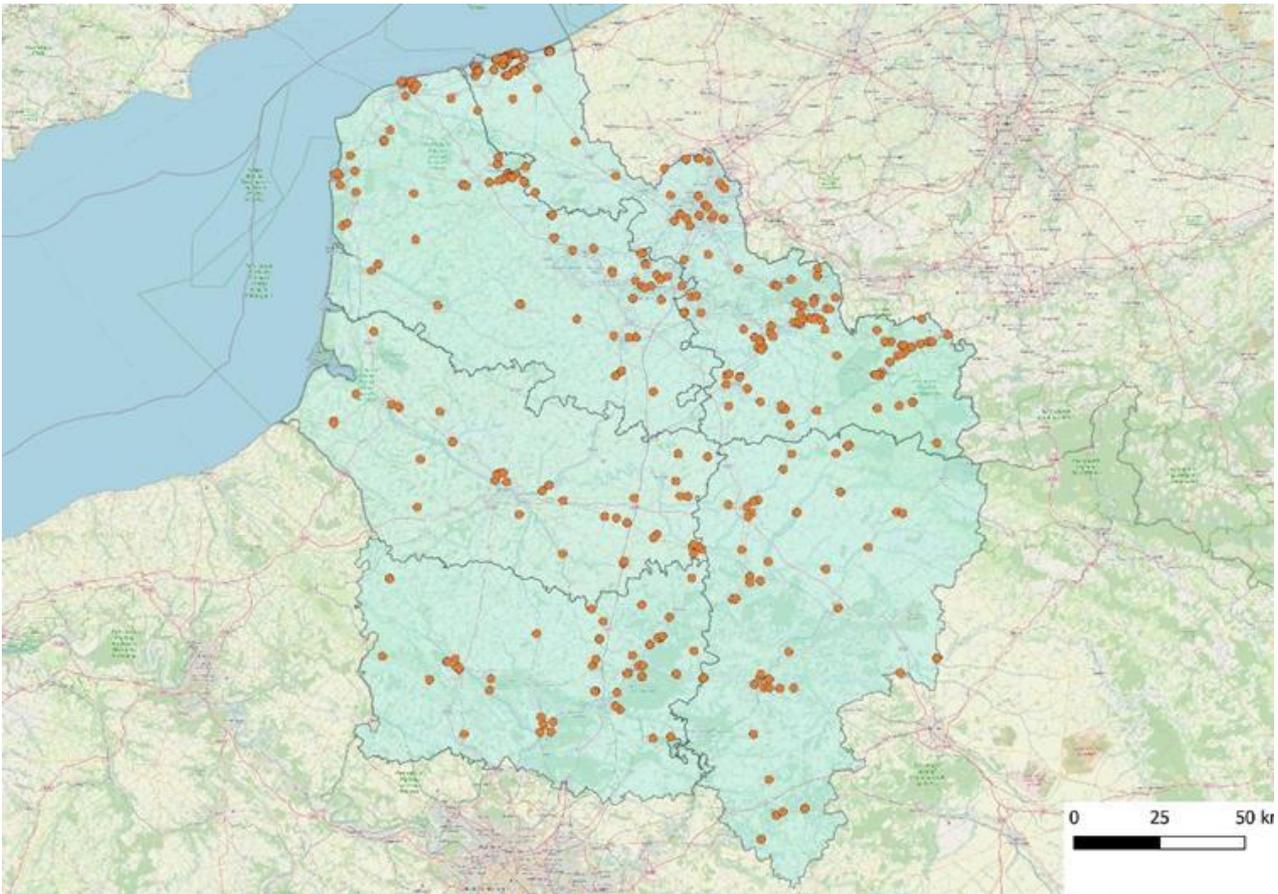


Figure 62 : Localisation des sources industrielles ponctuelles de la région Hauts-de-France Fond de carte : © les contributeurs d'OpenStreetMap, openstreetmap.org – Couche communes : BD TOPO®2017 de l'IGN.

★ Résidentiel-tertiaire

Les émissions totales par communes issues de l'inventaire des émissions de polluants sont désagrégées sur le bâti à partir de la base de données MAJIC, en considérant le nombre d'habitants associé à chacun des bâtiments, qu'ils soient dédiés au logement ou aux activités tertiaires (enseignement, commerces...). Ces émissions sont ensuite spatialisées sur un maillage régulier afin de limiter le nombre de sources intégrées au modèle et le temps de calcul. Ce sont donc les sources surfaciques avec une géométrie kilométrique. Sur le modèle régional 2020, 30171 mailles sont prises en compte.

★ Autres transports : Transport ferroviaire, fluvial, maritime et aérien

Les transports ferroviaires et fluviaux sont également pris en compte dans la modélisation, à raison de 294 brins linéiques pour le transport ferroviaire, et 636 pour le transport fluvial (Figure 63). Les émissions communales issues de l'inventaire des émissions sont spatialisées sur ces tronçons.

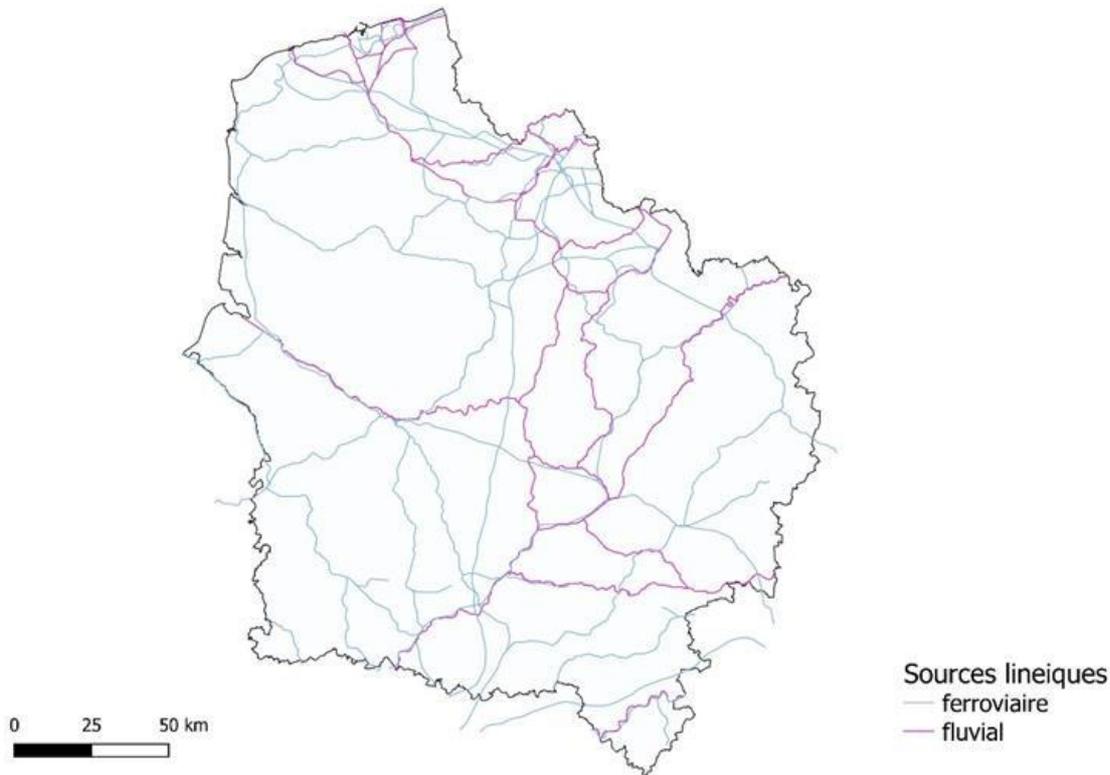


Figure 63 : Sources ferroviaires et fluviales prises en compte dans le modèle.

De plus, les secteurs maritime et aérien ont été pris en compte dans le modèle régional 2020 selon les données de l'inventaire 2018. De ce fait, les données des ports de Calais et Boulogne ont été intégrées, ainsi que les émissions de deux aéroports : Beauvais et Lesquin. Ces deux types de sources ont un impact négligeable sur les concentrations des polluants aux alentours des adresses des patients de cette étude.

★ Agriculture et biotique

Les sources agricoles et biotiques ont également été prises en compte dans le modèle. Les émissions communales de l'inventaire ont, comme pour l'industriel, été distribuées sur les zones de la CORINE Land Cover correspondant à ce type d'activités, puis agrégées sur un maillage kilométrique. Ces sources sont considérées comme surfaciques. 29500 mailles kilométriques du secteur biotique et 31318 mailles du secteur agricole ont été intégrés dans le modèle.

Annexe 4 : Modes de surveillance de la qualité de l'air

Les stations de mesures

En 2019, la région Hauts-de-France comptait **62 sites de mesures de la qualité de l'air** (cf. site atmo-hdf.fr¹⁸) dont **53 stations fixes** et **7 stations mobiles**.

Station fixe

Par définition, une station de mesures fixe fournit des informations sur les concentrations de polluants atmosphériques sur un même site en continu ou de manière récurrente.

Station mobile

La station mobile mesure également des concentrations de polluants atmosphériques et des paramètres météorologiques mais de manière ponctuelle et sur différents sites. Autrement dit, elle constitue un laboratoire de surveillance de la qualité de l'air amené à être déplacé sur l'ensemble de la région pour répondre à des campagnes de mesures ponctuelles, en complément de la mesure en continu de la qualité de l'air par le dispositif de mesures fixe.



Critères d'implantation des stations fixes

Chaque station de mesures vise un objectif de surveillance particulier. Selon cet objectif et en application des recommandations¹⁹ du LCSQA (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air) et de la Fédération Atmo, elle doit respecter des critères d'implantation en lien avec sa classification, mais aussi :

- la métrologie (bonnes conditions de dispersion des polluants, absence d'obstacle, alimentation électrique, accès pour les techniciens...);
- la sécurité de la population (la station ne doit pas gêner ni mettre en danger la population) ;
- une exposition de la population la plus représentative (installation du site dans une zone à forte densité de population, absence de source de pollution très locale).

*Les stations fixes sont classées selon l'environnement d'implantation : station **urbaine**, station **périurbaine** ou station **rurale** (proche d'une zone urbaine, régionale ou nationale).*

*Ensuite, chaque mesure réalisée dans la station (c'est-à-dire chaque polluant suivi) est classée selon le type d'influence prédominante : **mesure sous influence industrielle**, **mesure sous influence trafic** ou **mesure de fond** (mesure n'étant pas sous l'influence d'une source spécifique).*

¹⁸ <https://www.atmo-hdf.fr/tout-savoir-sur-l-air/mesures-de-la-qualite-de-l-air.html>

¹⁹ Guide de recommandations du LCSQA et de la Fédération Atmo, Conception, implantation et suivi des stations françaises de surveillance de la qualité de l'air, Février 2017. <http://www.lcsqa.org/rapport/2016/imt-ld-ineris/guide-methodologique-stations-francaises-surveillance-qualite-air>

La station de **Salouël** est de typologie **périurbaine**.

Ce site a été installé en 1998 et assure le suivi en continu des concentrations en oxydes d'azote, ozone et poussières en suspension PM10.

Adresse : Rue Anatole France
80725 SALOUEL

Latitude : 49° 52' 8"

Longitude : 2° 14' 24"

Altitude : 30 m



La station d'**Amiens Saint-Pierre** est de typologie **urbaine**.

Ce site a été installé en 2010 et assure le suivi en continu des concentrations en oxydes d'azote, ozone, poussières en suspension PM10 et particules fines PM2.5²⁰.

Adresse : Parc Saint-Pierre
Rue Eloi Morel
80000 AMIENS

Latitude : 49° 54' 7"

Longitude : 2° 18' 17"

Altitude : 26 m



La station **d'Amiens 14 juillet** est une station de **proximité automobile**.

Ce site a été installé en 2012 et assure le suivi en continu des concentrations en oxydes d'azote²¹ et poussières en suspension PM10²².

Adresse : Avenue du 14 Juillet
80000 AMIENS

Latitude : 49° 52' 38"

Longitude : 2° 16' 57"

Altitude : 68 m



²⁰ Arrêt de la mesure au 31/12/2017

²¹ Arrêt de la mesure au 31/12/2017

²² Arrêt au 31/12/2017, remplacé par la mesure des PM2.5 à partir du 01/01/2018

Techniques de mesures

Afin de mesurer les concentrations des polluants atmosphériques, les stations sont équipées de matériels spécifiques. En fonction des polluants étudiés, différentes techniques de mesures peuvent être utilisées.

Mesures avec analyse directe

Ces mesures sont effectuées par **des analyseurs** qui fournissent les concentrations des polluants 24h/24h, selon un pas de temps défini de 10 secondes à 15 minutes. Ces mesures permettent de suivre **en temps réel** les concentrations en polluants PM10, PM2.5, CO, NO_x, SO₂, O₃, etc. et d'identifier d'éventuels pics de pollution. Elles nécessitent l'installation, au sein d'une station de mesure fixe ou mobile régulée en température et en tension, d'un dispositif de mesures comprenant en plus des analyseurs, des têtes de prélèvement, des lignes de prélèvements, une station d'acquisition de mesure et un modem.

Les **oxydes d'azote** sont ainsi analysés dans l'air ambiant par chimiluminescence (norme NF EN 14211).

Pour les **particules (PM10 et PM2.5)**, les méthodes utilisées (conformes à la NF EN 16450) sont équivalentes à la méthode de référence par pesée gravimétrique (normes NF EN 12341 pour les PM10 et NF EN 14907 pour les PM2.5). Ces méthodes sont :

- la microbalance par évaluation de la variation d'une fréquence de vibration du quartz,
- la jauge radiométrique bêta basée sur la variation de l'absorption d'un rayonnement beta.

La mesure du **monoxyde de carbone** se fait par absorption infrarouge (norme NF EN 14626).

L'analyse du **dioxyde de soufre** s'effectue par fluorescence du rayonnement ultraviolet (norme NF EN 14212).

L'**ozone** est mesuré par photométrie ultraviolet (norme NF EN 14625).

Mesures avec analyse différée

Le prélèvement actif

Ces mesures sont réalisées en deux étapes : d'une part, le prélèvement sur support (filtre, mousse...) par des **préleveurs actifs** (aspiration d'un volume d'air), puis une **analyse en laboratoire**. Une alimentation électrique est nécessaire 24h/24h au bon fonctionnement de l'appareil de mesure. Une valeur moyenne est calculée pour la période de mesure (en général, les prélèvements ont lieu sur des périodes de 1 à 7 jours). Les fluctuations des concentrations sur une période plus fine, par ce biais, ne sont pas mises en évidence. De plus, le résultat n'est pas obtenu immédiatement, car il nécessite une analyse en laboratoire. Ce principe permet d'analyser de nombreux polluants : les métaux lourds (norme NF EN 14902), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (norme NF EN 15549), les dioxines, les furanes, les polychlorobiphényles dioxin like (PCB DL), les pesticides, le carbone élémentaire, les ions inorganiques, le levoglucosan etc.



Le prélèvement passif

Ces mesures sont réalisées en deux étapes : d'une part, **le prélèvement passif (sans aspiration de l'air forcée) sur un support** (tubes, jauges...) puis une **analyse en laboratoire**. Cette technique repose sur les mouvements naturels de l'air, sans aspiration mécanique. Elle permet d'obtenir une concentration moyenne sur une période (de quelques heures à plusieurs semaines).

Ces techniques peuvent être de plusieurs types :

- par **tubes passifs** : les polluants sont piégés au passage de l'air par simple diffusion moléculaire sur un milieu absorbant ou adsorbant en fonction de la nature du polluant. Cette méthode permet de mesurer divers polluants : dioxyde d'azote, aldéhydes, ammoniac, composés organiques volatils, BTEX etc.
- par **jauge Owen** : les poussières sédimentables sont collectées dans un grand flacon (retombées sèches par sédimentation ou humides par les précipitations). L'analyse de ces poussières permet de rechercher une grande diversité de polluants, dont les métaux, les dioxines, les furanes et les polychlorobiphényles dioxin like.

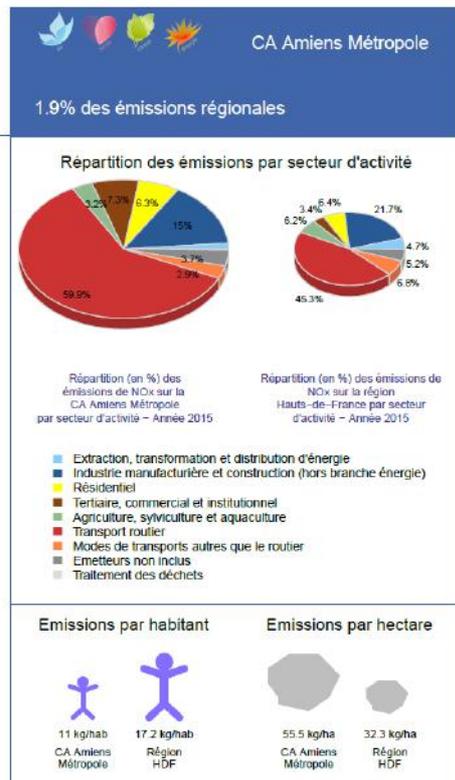
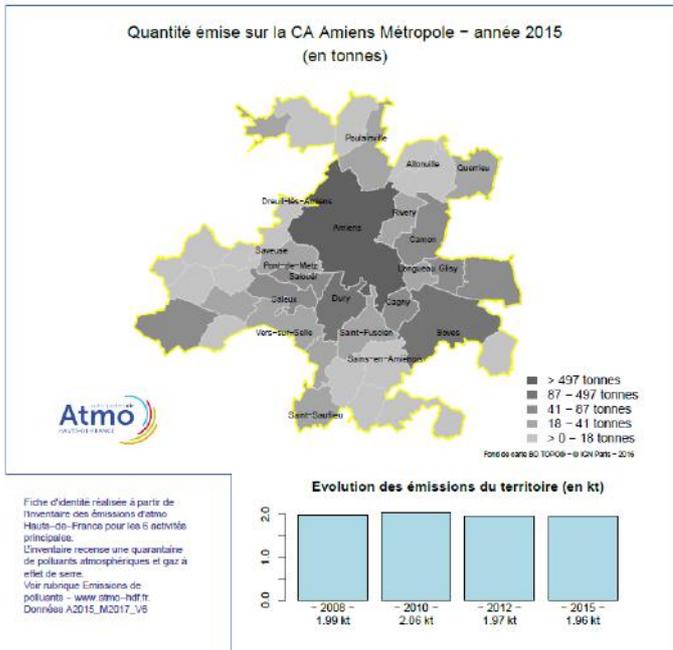


Atmo Hauts-de-France réalise tous les prélèvements avec les appareils ci-dessus décrits. En revanche, Atmo Hauts-de-France sous-traite les analyses chimiques des prélèvements effectués (ex. métaux lourds, pesticides, Hydrocarbures aromatiques polycycliques, spéciation chimique, BTEX, ...) à des laboratoires accrédités ou réputés compétents et agréés par Atmo Hauts-de-France.

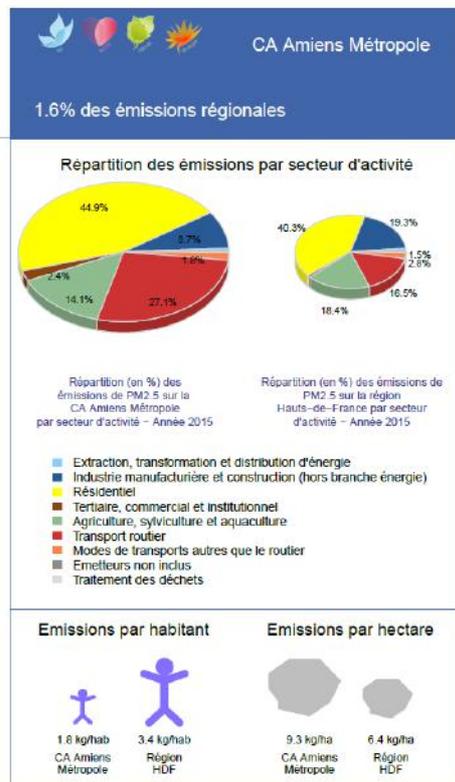
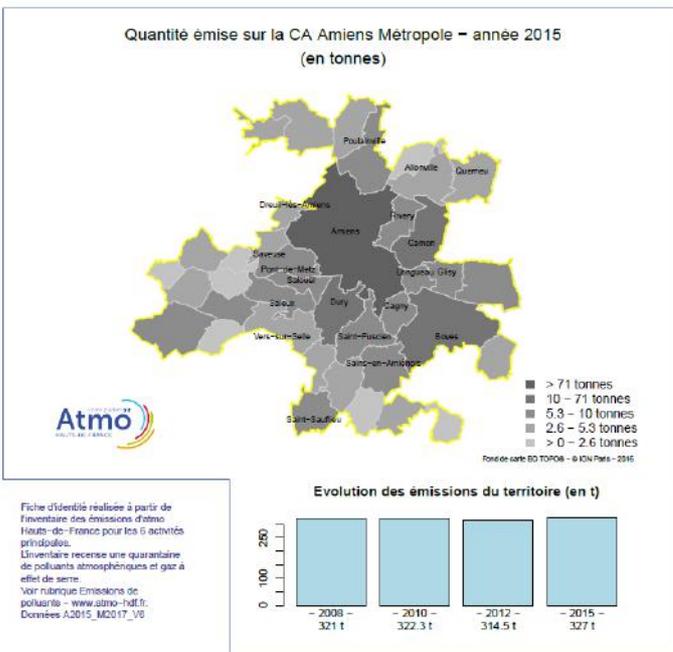
Annexe 5 : Fiches des émissions de polluants d'Amiens Métropole



Oxydes d'azote (NOx)

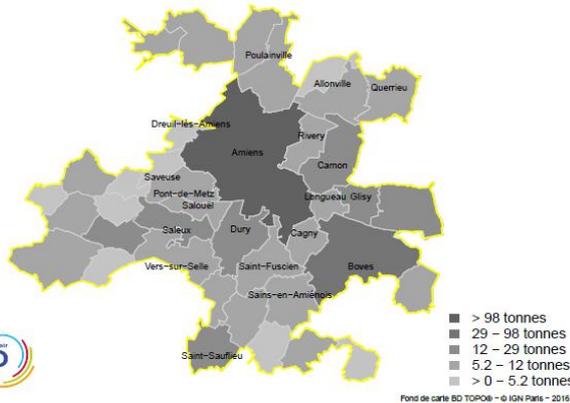


Particules (PM2.5)



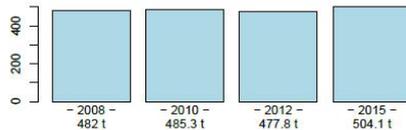
Particules (PM10)

Quantité émise sur la CA Amiens Métropole – année 2015
(en tonnes)



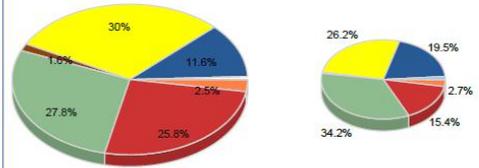
Fiche d'identité réalisée à partir de l'inventaire des émissions d'atmo Hauts-de-France pour les 6 activités principales. L'inventaire recense une quarantaine de polluants atmosphériques et gaz à effet de serre. Voir rubrique Emissions de polluants - www.atmo-hdf.fr. Données A2015_M2017_V6

Evolution des émissions du territoire (en t)



1.6% des émissions régionales

Répartition des émissions par secteur d'activité

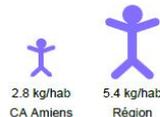


Répartition (en %) des émissions de PM10 sur la CA Amiens Métropole par secteur d'activité - Année 2015

Répartition (en %) des émissions de PM10 sur la région Hauts-de-France par secteur d'activité - Année 2015

- Extraction, transformation et distribution d'énergie
- Industrie manufacturière et construction (hors branche énergie)
- Résidentiel
- Tertiaire, commercial et institutionnel
- Agriculture, sylviculture et aquaculture
- Transport routier
- Modes de transports autres que le routier
- Emetteurs non inclus
- Traitement des déchets

Emissions par habitant

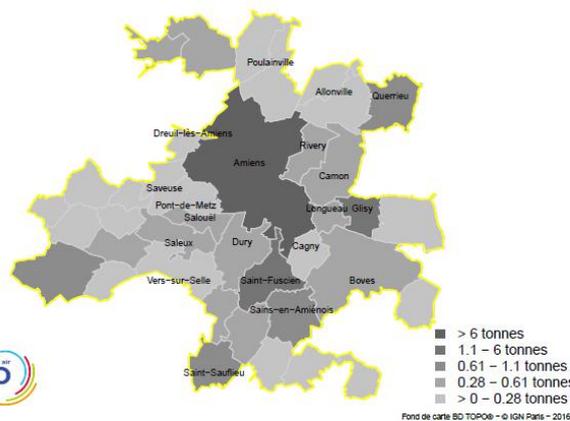


Emissions par hectare



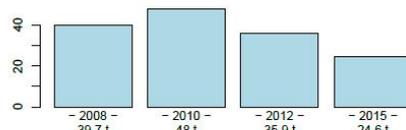
Dioxyde de soufre (SO2)

Quantité émise sur la CA Amiens Métropole – année 2015
(en tonnes)



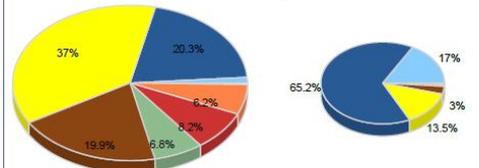
Fiche d'identité réalisée à partir de l'inventaire des émissions d'atmo Hauts-de-France pour les 6 activités principales. L'inventaire recense une quarantaine de polluants atmosphériques et gaz à effet de serre. Voir rubrique Emissions de polluants - www.atmo-hdf.fr. Données A2015_M2017_V6

Evolution des émissions du territoire (en t)



0.1% des émissions régionales

Répartition des émissions par secteur d'activité



Répartition (en %) des émissions de SO2 sur la CA Amiens Métropole par secteur d'activité - Année 2015

Répartition (en %) des émissions de SO2 sur la région Hauts-de-France par secteur d'activité - Année 2015

- Extraction, transformation et distribution d'énergie
- Industrie manufacturière et construction (hors branche énergie)
- Résidentiel
- Tertiaire, commercial et institutionnel
- Agriculture, sylviculture et aquaculture
- Transport routier
- Modes de transports autres que le routier
- Emetteurs non inclus
- Traitement des déchets

Emissions par habitant



Emissions par hectare



Annexe 6 : Réglementation sur la Qualité de l'air ambiant

Pour l'interprétation des données, nous disposons de diverses valeurs réglementaires (valeurs limites, valeurs cibles, objectifs...) en air extérieur. Ces normes sont définies au niveau européen dans des directives, puis sont déclinées en droit français par des décrets ou des arrêtés.

A noter que pour toute comparaison à des valeurs limites annuelles, selon l'annexe I de la directive européenne 2008/50/CE, la période minimale de prise en compte doit être de 14% de l'année (une mesure journalière aléatoire par semaine répartie uniformément sur l'année, ou 8 semaines réparties uniformément sur l'année).

La valeur limite est un niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.

La valeur cible est un niveau à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.

L'objectif de qualité (ou objectif à long terme pour l'ozone) est un niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

Seuil d'information et de recommandation : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque de dépassement pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaire l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions.

Seuil d'alerte : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

Une procédure interdépartementale d'information et d'alerte du public est instituée en Hauts-de-France. Elle organise une série d'actions et de mesures d'urgence afin de réduire les émissions de polluants et d'en limiter les effets sur la santé et l'environnement. Cette procédure définit les modalités de déclenchement des actions, basées notamment sur les seuils d'information et l'alerte. Les mesures des campagnes ponctuelles ne sont pas intégrées à cette procédure.

Un tableau des valeurs réglementaires des polluants suivis dans cette étude est présenté page suivante.

Polluant	Valeurs réglementaires				
	Valeur limite	Valeur cible	Objectif long terme Objectif de qualité	Niveau d'information et de recommandation	Niveau d'alerte
Dioxyde d'azote (NO ₂)	40 µg/m³ en moyenne annuelle				400 µg/m³ pendant 3h consécutives ou Persistance : 200 µg/m³ plus de 2 jours consécutifs (J-1, J et J+1) (moyenne horaire)
	200 µg/m³ en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18h/an			200 µg/m³ en moyenne horaire	
Ozone (O ₃)		<u>Protection de la santé</u> 120 µg/m³ en moyenne glissante sur 8h, à ne pas dépasser plus de 25 j/an en moyenne calculée sur 3 ans	<u>Protection de la santé</u> 120 µg/m³ en moyenne sur 8h glissantes	180 µg/m³ en moyenne horaire	<u>Seuil 1 :</u> 240 µg/m³ pendant 3h consécutives
		<u>Protection de la végétation</u> 18 000 µg/m³.h pour l'AOT40 (moyenne calculée sur 5 ans)	<u>Protection de la végétation</u> 6 000 µg/m³.h pour l'AOT40		<u>Seuil 2 :</u> 300 µg/m³ pendant 3h consécutives
					<u>Seuil 3 :</u> 360 µg/m³ (moyenne horaire)
Particules PM10	40 µg/m³ en moyenne annuelle			50 µg/m³ en moyenne journalière	80 µg/m³ (seuil admis par le CSHPF) ou Persistance : 50 µg/m³ plus de 2 jours consécutifs (J et J+1) (moyenne journalière)
	50 µg/m³ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 j/an		30 µg/m³ en moyenne annuelle		
Particules PM2.5	25 µg/m³ en moyenne annuelle	20 µg/m³ en moyenne annuelle	10 µg/m³ en moyenne annuelle		
Plomb (Pb)	0.5 µg/m³ en moyenne annuelle		0.25 µg/m³ en moyenne annuelle		
Arsenic (As)		6 ng/m³ en moyenne annuelle			
Cadmium (Cd)		5 ng/m³ en moyenne annuelle			
Nickel (Ni)		20 ng/m³ en moyenne annuelle			



Annexe 7 : Synthèse du nombre de passages aux urgences pour l'analyse

Mois	Nb total de passages	Nb d'exclus pour pneumopathie	Nb d'exclus pour Grippe	Nb d'exclus pour Covid	Nb d'exclus pour autres causes	Nb sans EFR	Nb de passages conservés dans l'analyse
Janvier	24	3	1	0	5	0	15
Février	29	5	2	0	3	0	19
Mars	25	2	0	3	0	2	18
Avril	15	3	0	0	0	1	11
Mai	19	0	0	0	3	0	16
Juin	22	4	0	1	2	0	15
Juillet	18	4	0	0	2	0	12
Aout	16	0	0	0	1	2	13
Septembre	29	4	0	0	1	2	22
Octobre	32	6	0	3	1	2	20
Novembre	22	3	0	2	1	5	11
Décembre	17	3	0	1	2	3	8
TOTAL	268	37	3	10	20	17	180

Nombre de passages pour exacerbation	Nombre de patients
1 passage	74 patients
2 passages	22 patients
3 passages	6 patients
4 passages	3 patients
5 passages	2 patients
6 passages	1 patient
7 passages	1 patient
9 passages	1 patient

Annexe 8 : Classification des grades de la BPCO

Partie 1 : Grades de la BPCO en fonction de la sévérité de l'obstruction bronchique.

TVO	Sévérité	définition
VEMS/CVF<70%	GOLD 1	VEMS \geq 80%
	GOLD 2	50 \leq VEMS<79%
	GOLD 3	30 \leq VEMS<50%
	GOLD 4	VEMS <30%

Partie 2 : Grades de la BPCO en fonction de la sévérité clinique.

Exacerbations	Groupes	
≥ 2 /an ou ≥ 1 /an avec hospitalisation	C	D
0 ou 1 par an sans hospitalisation	A	B
	mMRC<2	mMRC \geq 2
	Dyspnée d'effort	

RETROUVEZ TOUTES
NOS **PUBLICATIONS** SUR :
www.atmo-hdf.fr

Atmo Hauts-de-France

Observatoire de l'Air

199, rue Colbert – Bâtiment Douai

59000 Lille

