

Surveillance des HAP dans les dépôts atmosphériques en Normandie en 2024 au moyen de lichens

Rapport final

Référence : PI_2025_11

Date de diffusion : Janvier 2026

Atmo Normandie

3 Place de la Pomme d'Or, 76000 ROUEN

Tél. : +33 2.35.07.94.30

Fax : +33 2.35.07.94.40

contact@atmonormandie.fr



Avertissement

Atmo Normandie est l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Normandie. Elle diffuse des informations sur les problématiques liées à la qualité de l'air dans le respect du cadre légal et réglementaire en vigueur et selon les règles suivantes.

La diffusion des informations vers le grand public est gratuite. Atmo Normandie est libre de leur diffusion selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site internet (www.atmonormandie.fr), ... Les documents ne sont pas systématiquement rediffusés en cas de modification ultérieure.

Lorsque des informations sous quelque forme que ce soit (éléments rédactionnels, graphiques, cartes, illustrations, photographies...) sont susceptibles de relever du droit d'auteur elles demeurent la propriété intellectuelle exclusive de l'association. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle de ces informations faites sans l'autorisation écrite d'Atmo Normandie est illicite et constituerait un acte de contrefaçon sanctionné par les articles L.335-2 et suivants du Code de la Propriété Intellectuelle.

Pour le cas où le présent document aurait été établi pour partie sur la base de données et d'informations fournies à Atmo Normandie par des tiers, l'utilisation de ces données et informations ne saurait valoir validation par Atmo Normandie de leur exactitude. La responsabilité d'Atmo Normandie ne pourra donc être engagée si les données et informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées, quelles qu'en soient les répercussions.

Atmo Normandie ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations, travaux intellectuels et publications diverses de toutes natures, quels qu'en soient les supports, résultant directement ou indirectement de ses travaux et publications.

Les recommandations éventuellement produites par Atmo Normandie conservent en toute circonstance un caractère indicatif et non exhaustif. De ce fait, pour le cas où ces recommandations seraient utilisées pour prendre une décision, la responsabilité d'Atmo Normandie ne pourrait en aucun cas se substituer à celle du décideur.

Toute utilisation totale ou partielle de ce document, avec l'autorisation contractualisée d'Atmo Normandie, doit indiquer les références du document et l'endroit où ce document peut être consulté.

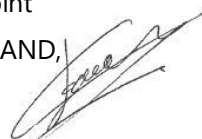
Rapport n° PI_2025_11

Le 24/10/2025,

La rédactrice,
Juliette VIEVARD,



Le directeur adjoint
Christophe LEGRAND,



Atmo Normandie – 3, Place de la Pomme d'Or - 76000 ROUEN

Tél. : 02 35 07 94 30 - mail : contact@atmonormandie.fr

www.atmonormandie.fr

Résumé

Le rapport souligne l'intérêt des lichens comme bioindicateurs efficaces pour suivre la pollution atmosphérique pour les HAP, en illustrant notamment leur capacité à détecter les pics de pollution liés à des événements ponctuels comme l'incendie de Lubrizol et Normandie Logistique (2019). Il met en évidence une variabilité saisonnière des teneurs en HAP accumulées dans les lichens, généralement plus élevées en hiver, sur la majorité des sites étudiés, ce qui est cohérent avec les mesures effectuées dans l'air ambiant. Des valeurs repères régionales ont pu être établies permettant la distinction entre situations normales et épisodes accidentels. La disponibilité de ces valeurs repères améliore l'interprétation des retombées atmosphériques en contexte urbain et industriel, en permettant la comparaison des teneurs mesurées avec des niveaux de référence. Enfin, le nombre de données limité de cette étude n'a pas permis de mettre en place des tests statistiques assez puissants pour mettre en évidence des différences dans les profils chimiques des HAP selon la typologie des sites (ruraux, urbains et industriels). Néanmoins, l'utilisation des lichens permet d'identifier des zones impactées par les HAP. Pour enrichir ce début d'observatoire régional et améliorer la compréhension des sources de contamination, des campagnes de mesures complémentaires, ainsi que l'application d'outils de modélisation tels que la Positive Matrix Factorization (PMF), seraient nécessaires.

Sommaire

1. Introduction	6
2. Contexte et éléments de compréhension	8
2.1. Contexte, état de l'art et objectifs	8
2.1.1. État des connaissances sur les émissions de HAP dans l'air	8
2.1.2. Objectifs et rôle d'Atmo Normandie.....	13
2.2. Approche méthodologique	15
2.2.1. Sources de données.....	15
2.2.2. Méthodes et outils de traitement de données	16
2.2.3. Limites.....	17
3. Résultats.....	18
3.1. État des lieux après l'incendie Lubrizol et Normandie Logistique	18
3.2. Effet saisonnier.....	20
3.3. Valeurs repères régionales.....	22
3.3.1. Historique d'Atmo Normandie.....	22
3.3.2. Comparaison des valeurs repères régionales et post-incendie – Lubrizol et Normandie Logistique 2019	24
3.4. Profils types de HAP selon la typologie de site	25
3.5. Comparaison air ambiant vs lichens.....	30
3.6. Focus sur les 4 sites aux teneurs les plus marquées.....	34
3.6.1. Sites industriels – Rouen Ouest Petit-Quevilly et Rouen Est Sotteville.....	34
3.6.2. Sites urbains – Saint-Etienne-du-Rouvray Mairie et Voie Ferrée.....	37
4. Conclusion et recommandations.....	39
5. Annexes.....	40
5.1. Annexe 1	40
5.2. Annexe 2.....	42
5.3. Annexe 3.....	43



Abréviations et unités

ACP : Analyse en Composantes Principales

B(a)P : Benzo(a)pyrène

CASPAIR : Cellule d'Appui aux Situations de Pollution Atmosphérique Inhabituelles Régionales d'Atmo Normandie (voir encart ci-dessous)

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

HAP₈ : Benzo(a)anthracène, Benzo(a)pyrène, Benzo(b)fluoranthène, Benzo(g,h,i)pérylène, Benzo(k)fluoranthène, Chrysène, Dibenzo(a,h)anthracène, Indeno(1,2,3-cd)pyrène

HAP₁₆ : Acénaphtène, Acénaphtylène, Anthracène, Benzo[a]anthracène, Benzo[a]pyrène, Benzo[b]fluoranthène, Benzo[ghi]pérylène, Benzo[k]fluoranthène, Chrysène, Dibenzo[a,h]anthracène, Fluoranthène, Fluorène, Indéno[1,2,3-cd]pyrène, Naphtalène, Phénanthrène, Pyrène.

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

PM₁₀ : Particules dont le diamètre est inférieur à 10 µm

ZI : Zone Industrielle

Unité utilisée pour les HAP dans les lichens : µg/kg MS : microgramme par kilogramme de matière sèche

Unité utilisée pour les HAP dans l'air ambiant : ng/m³ : nanogramme par mètre cube

Le cœur de métier d'Atmo Normandie, défini dans l'arrêté ministériel du 16 avril 2021, est la surveillance de la pollution chronique, l'évaluation des plans d'action et l'information du public sur la qualité de l'air au quotidien. En 2017, les statuts d'Atmo Normandie ont évolué afin **d'accompagner les parties prenantes en cas de gestion de crise ou de post-crise ayant une incidence sur l'air (épisode odorant, accident ou incendie industriel...)**. Dans ce contexte, Atmo Normandie a créé la cellule d'appui aux situations de pollution atmosphérique inhabituelles régionales (CASPAIR). depuis, l'avis du 1^{er} décembre 2022 définit la mise en œuvre des premiers prélèvements environnementaux en situation accidentelle impliquant des installations classées pour la protection

1. Introduction

Ce rapport s'adresse au grand public, pour informer et sensibiliser aux questions de qualité de l'air et aux polluants présents en Normandie. Il vise aussi les professionnels et acteurs impliqués dans la surveillance environnementale, la gestion des risques industriels, ainsi que les autorités régionales en charge de la qualité de l'air et de la santé publique, notamment la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) et l'Agence Régionale de Santé (ARS) de Normandie, qui ont co-financé ce travail.

Atmo Normandie a la volonté de mieux comprendre les impacts des incidents industriels, comme les incendies, sur la pollution de l'air. Cette étude se focalise sur l'évaluation des retombées atmosphériques en HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), en utilisant les lichens comme bioindicateurs. La problématique principale porte sur la capacité de ces organismes à détecter et suivre la pollution résultant d'événements ponctuels, tout en permettant une surveillance continue des variations saisonnières et spatiales.

L'objectif de ce rapport est donc de montrer l'intérêt des lichens pour la surveillance environnementale, en fournissant une base de références régionales pour le programme CASPAIR¹, dédié à l'étude des impacts d'accidents industriels en Normandie. Plus spécifiquement, le rapport vise à :

- Réaliser un état des connaissances sur les émissions de HAP dans l'air en France et en Normandie,
- Mettre en évidence les variations saisonnières des teneurs en HAP sur le territoire normand,
- Proposer des valeurs repères utiles pour la gestion et l'interprétation des épisodes de pollution par les HAP,
- Analyser les profils chimiques des HAP captés par les lichens selon la typologie des sites,
- Comparer le dépôt des HAP dans les lichens et leur prélèvement dans l'air ambiant.

Pour faciliter la lecture, le document est structuré en plusieurs sections : la première présente le contexte général, l'état des connaissances sur les émissions de HAP et les objectifs du programme ainsi que le rôle d'Atmo Normandie ; la deuxième traite de la contribution de l'incendie Lubrizol et Normandie Logistique en 2019 via la mesure des HAP dans les lichens ; la troisième présente les analyses saisonnières des HAP dans les lichens ; la quatrième détaille les valeurs repères régionales établies ; la cinquième explore les profils chimiques des HAP selon la typologie des sites de prélèvement des lichens ; la sixième compare les résultats des méthodes de prélèvement air ambiant et lichens ; enfin, la dernière analyse spécifiquement quatre sites présentant des teneurs élevées en HAP₁₆.

Ce rapport présente ainsi une synthèse complète sur l'usage des lichens comme outil de biosurveillance, répondant aux besoins actuels de suivi et de gestion des pollutions atmosphériques en contexte industriel.

¹ <https://www.atmonormandie.fr/article/gestion-des-incidents-et-evenements>

L'estimation des dépôts atmosphériques :

Les **dépôts atmosphériques**, plus communément nommés « **retombées atmosphériques** » ou plus simplement « **retombées** », peuvent s'évaluer de deux façons différentes.

La première est **la mesure du flux de dépôts atmosphériques** secs (particulaires) et humides (gazeux et particulaires). Cette mesure s'effectue à l'aide de **jauges**, récipient collectant les eaux de pluies et les dépôts de particules. Cette mesure représente une quantité de matière collectée par unité de surface et unité de temps et s'exprime en généralement en **$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$** ou **$\text{pg}/\text{m}^2/\text{jour}$** .

La seconde est une méthode bioindicatrice réalisée avec les **végétaux**. Il s'agit d'une mesure d'une quantité de polluant par unité de matière sèche du végétal utilisé. Cela représente donc **une concentration exprimée en $\mu\text{g}/\text{g}$ ou pg/g de matière sèche (MS)**. Dans le cadre des études d'Atmo Normandie, ce sont généralement des **lichens** qui sont utilisés.

Si ces deux méthodes permettent d'évaluer les retombées atmosphériques, elles ne sont en aucun cas comparables, la mesurande physique évaluée étant de nature différente, un flux de dépôt d'une part et une concentration d'autre part. Il faudra être attentif au fait que le terme « retombées » pourra selon les études être associé à l'une ou l'autre des deux méthodes.

2. Contexte et éléments de compréhension

2.1. Contexte, état de l'art et objectifs

2.1.1. État des connaissances sur les émissions de HAP dans l'air

Pour mieux comprendre les HAP, leurs origines, leurs effets et leurs émissions en France et notamment en Normandie, le tableau ci-dessous synthétise les principales informations, notamment issues du rapport Secten produit par le Citepa². Les différents thèmes présentés dans ce tableau seront développés plus en détail dans la suite de cette partie.

Thème	Résumé	Sources
Définition	Composés aromatiques polycycliques pouvant être cancérogènes	Rapport Secten et article de Nikolova-Pavageau et Pilliere (2018)
Origine	Fossiles, combustion incomplète, sources pétrogéniques et pyrogéniques	Article de Nikolova-Pavageau et Pilliere (2018)
Toxicité	Cancérogènes, mutagènes, exposés par inhalation, peau, digestion	Rapport Secten et article de Nikolova-Pavageau et Pilliere (2018)
Exposition professionnelle	Métallurgie, cokerie, aluminium, traitement thermique	Article de Nikolova-Pavageau et Pilliere (2018)
Emissions en France	Environ 80% liées à combustion résidentielle, baisse globale depuis 1990	Rapport Secten
Emissions en Normandie	74% liées à combustion résidentielle pour le benzo(a)pyrène	Atmo Normandie - Inventaire version 4.1.0

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des informations principales sur les HAP

Définition et propriétés générales

Les HAP sont des composés organiques formés exclusivement d'atomes de carbone et d'hydrogène, organisés en au moins deux cycles aromatiques condensés. Leur composition exacte dépend du nombre de cycles : les HAP légers comportent jusqu'à trois cycles, tandis que les HAP lourds en possèdent quatre ou plus, avec des propriétés physico-chimiques et toxicologiques différentes. Ils peuvent exister sous forme gazeuse ou particulaire : les HAP légers sont majoritairement présents en phase gazeuse, tandis que les HAP lourds se retrouvent principalement dans la phase particulaire^{2,3}.

² Citepa, 2025. Rapport Secten – Emissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques 1990-2024. <https://www.citepa.org/donnees-air-climat/donnees-gaz-a-effet-de-serre/secten/>

³ Nikolova-Pavageau, N., & Pilliere, F. (2018). Cartographie des expositions aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) par secteur d'activité : focus sur la surveillance biologique des expositions professionnelles.

Origines et sources de formation

Les HAP se forment naturellement lors de la fossilisation des matières organiques, ce qui explique leur présence dans le pétrole, le charbon et leurs produits dérivés. Leur formation actuelle est surtout liée à des processus de combustion incomplète, qu'elle soit volontaire (chauffage, procédés industriels) ou accidentelle (feux de forêts, éruptions volcaniques)^{2,3,4}.

Deux origines principales existent⁵ :

- **Pétrogénique** : pollution liée aux produits pétroliers non ou peu brûlés, tels que les fuites de carburants, l'usure mécanique (abrasion des pneus, huiles moteur), ou les déversements accidentels. Ces sources sont souvent diffuses et persistantes dans l'environnement
- **Pyrogénique** : pollution issue de la combustion incomplète de matières organiques (bois, charbon, carburants, incinération de déchets). Les HAP peuvent notamment se former lors du chauffage ou du traitement industriel de matières organiques lourdes, comme dans les centrales d'enrobage de bitume ou la production de goudron de houille. Ces procédés contribuent à leur présence dans l'air et les sols à proximité des émetteurs. Par exemple, les fumées de bitume, émises à plus de 210 °C, contiennent des HAP tels que le benzo(a)pyrène, le naphtalène et le pyrène. Le CIRC classe cette exposition comme possiblement cancérogène pour l'homme (groupe 2B)⁶.

Toxicité et effets sur la santé

Les HAP sont reconnus pour leur toxicité, notamment leur caractère cancérigène et mutagène². Parmi eux, le benzo(a)pyrène est classé dans le Groupe 1 du CIRC (cancérogène avéré pour l'homme), tandis que d'autres HAP sont classés Groupe 2A ou 2B (probablement ou possiblement cancérogènes)³. Une fois absorbés, certains HAP sont métabolisés en composés réactifs capables de se lier à l'ADN, entraînant des mutations et augmentant le risque de cancer. Des effets sur le système immunitaire ont également été observés, augmentant la susceptibilité aux infections².

Les voies principales d'exposition chez l'homme sont^{2,3} :

- **Alimentaire** : contamination par dépôts atmosphériques sur les végétaux, bioaccumulation dans les viandes et poissons, ou cuisson au charbon de bois
- **Inhalation** : exposition à l'air ambiant, intérieur ou extérieur, notamment dans les zones urbaines ou industrielles
- **Cutanée** : contact avec des huiles ou goudrons

⁴ Fatima Wariaghly. Thèse : Etude éco-toxicologique et parasitologique chez l'Anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans les estuaires marocains : Sebou et Loukkos (Atlantique). Biologie. Université Mohammed V-Agdal, 2013.

⁵ ONEMA/INERIS. Rapport : Origines des HAP dans les milieux aquatiques, 2014.
https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/66_ONEMA_DRC-13-SourcesHAP.pdf

⁶ <https://www.inrs.fr/risques/bitume/effets-sante.html>

Il est également possible d'être exposé dans le milieu professionnel. En effet, certaines industries présentent des niveaux particulièrement élevés d'exposition : cokeries, production d'aluminium, électrometallurgie, traitement thermique des gaz hydrocarbonés. Les travailleurs peuvent être exposés via l'inhalation de fumées, le contact cutané avec des goudrons ou huiles minérales, ou par transfert main-bouche.

Émissions en France et tendances²

En France, les émissions de HAP sont encadrées par le Protocole d'Aarhus, qui impose une limite maximale de rejets de 46,1 tonnes par an, cumulées pour les quatre HAP suivants : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et indéno(1,2,3-cd)pyrène.

La Figure 1, extraite du rapport Secten² sur les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques couvrant la période 1990-2024, résume les principaux émetteurs de ces quatre HAP, sur les dernières décennies. Ces données d'émissions sont des estimations théoriques établies à partir d'un inventaire des sources potentielles d'émission.

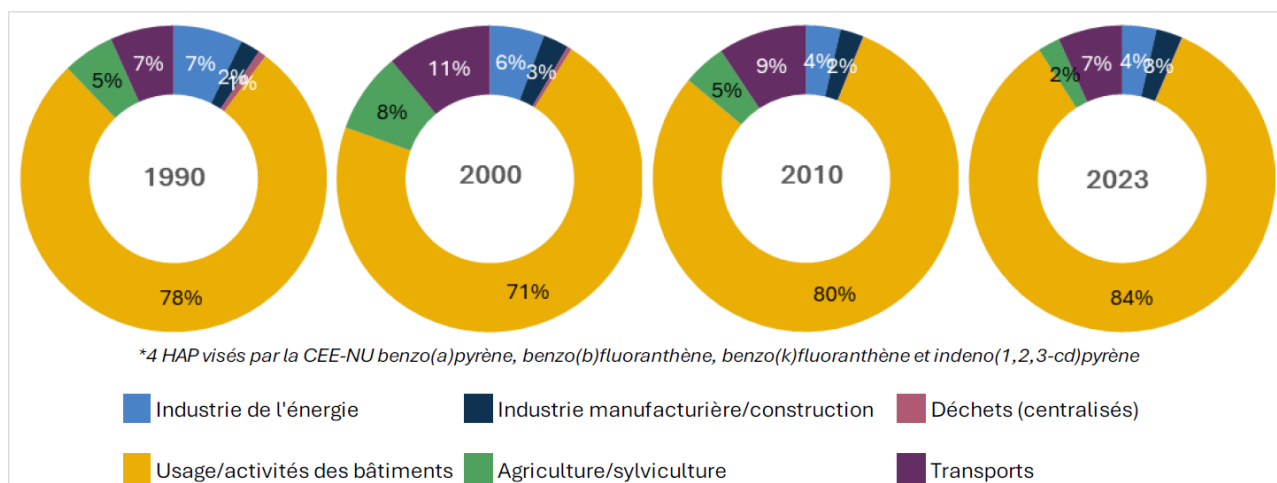
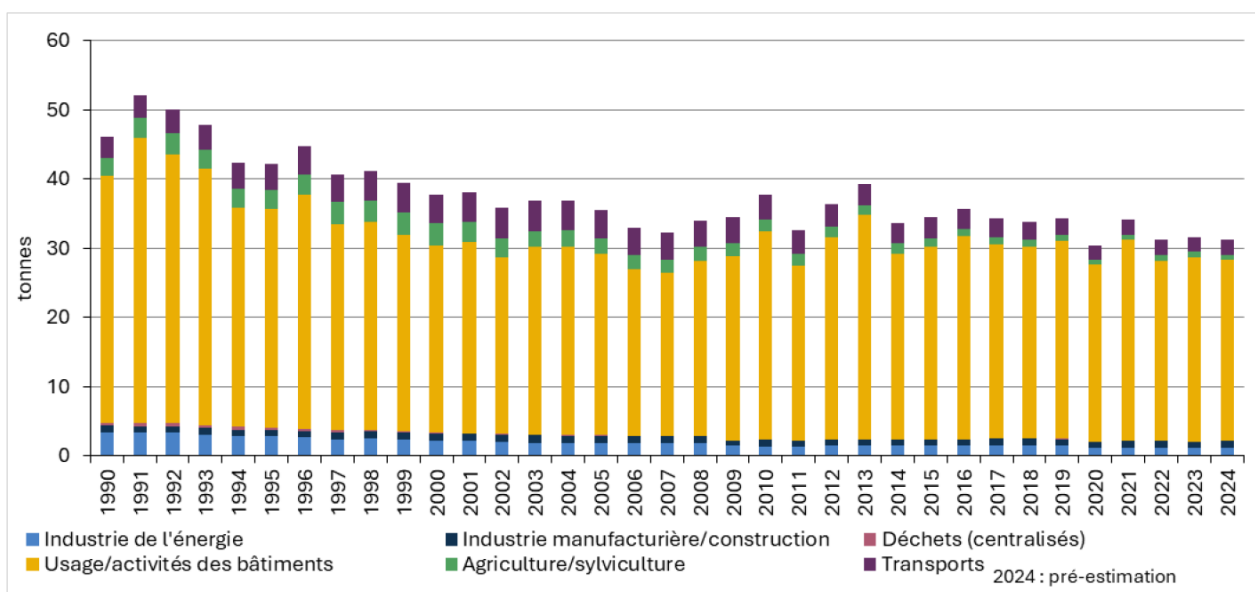


Figure 1 : Répartition des émissions des 4 HAP encadrés par le protocole d'Aarhus - en France. Figure extraite du rapport Secten²

D'après cette figure, en 2023, plus de 80 % des émissions provenaient de la combustion de bois dans le secteur résidentiel et tertiaire, souvent dans des conditions peu optimales (foyers ouverts, appareils anciens). Le reste des émissions est attribué à des sources qui localement peuvent être importantes dues aux transports, de procédés industriels et d'activités agricoles. Cette répartition est restée relativement stable au cours des quatre dernières décennies. Par ailleurs, les émissions présentent une forte variabilité saisonnière, augmentant en hiver en raison du chauffage et de conditions météorologiques défavorables à leur dispersion.

La Figure 2 illustre l'évolution des émissions atmosphériques de quatre HAP en France métropolitaine, encadrées par le protocole d'Aarhus, entre 1990 et 2024. Les données ont également été extraites du rapport Secten².



Sur la période 1990-2024, les émissions totales ont diminué dans tous les secteurs. Dans le résidentiel/tertiaire, les émissions domestiques ont diminué de 25 %, principalement grâce au remplacement d'appareils anciens, mais repartent à la hausse depuis 2008 après une réduction de 34 % entre 1990 et 2007. En raison du poids important de ce secteur dans le total des émissions, les variations annuelles reflètent en grande partie les conditions climatiques de l'année. Un hiver long et froid entraîne une hausse des émissions (comme en 2010 et 2013), tandis qu'un hiver plus doux les réduit. Dans le secteur du transport routier, les émissions ont d'abord augmenté jusqu'en 2003 sous l'effet du trafic croissant et de la forte utilisation du diesel, avant de diminuer lentement par la suite.

Il convient également de noter qu'une étude complémentaire du rapport Secten (2017), portant sur l'évolution des émissions des huit HAP réglementés en France (dont seulement quatre sont soumis à déclaration obligatoire), suggère que les émissions réelles seraient au moins quatre fois supérieures à celles rapportées pour ces quatre HAP obligatoires. L'écart s'explique principalement par le fait que l'inventaire porte sur quatre HAP, tandis que l'étude complémentaire en considère huit.

La Figure 3 illustre la répartition sectorielle des émissions des huit HAP réglementés en France métropolitaine pour l'année 2023.

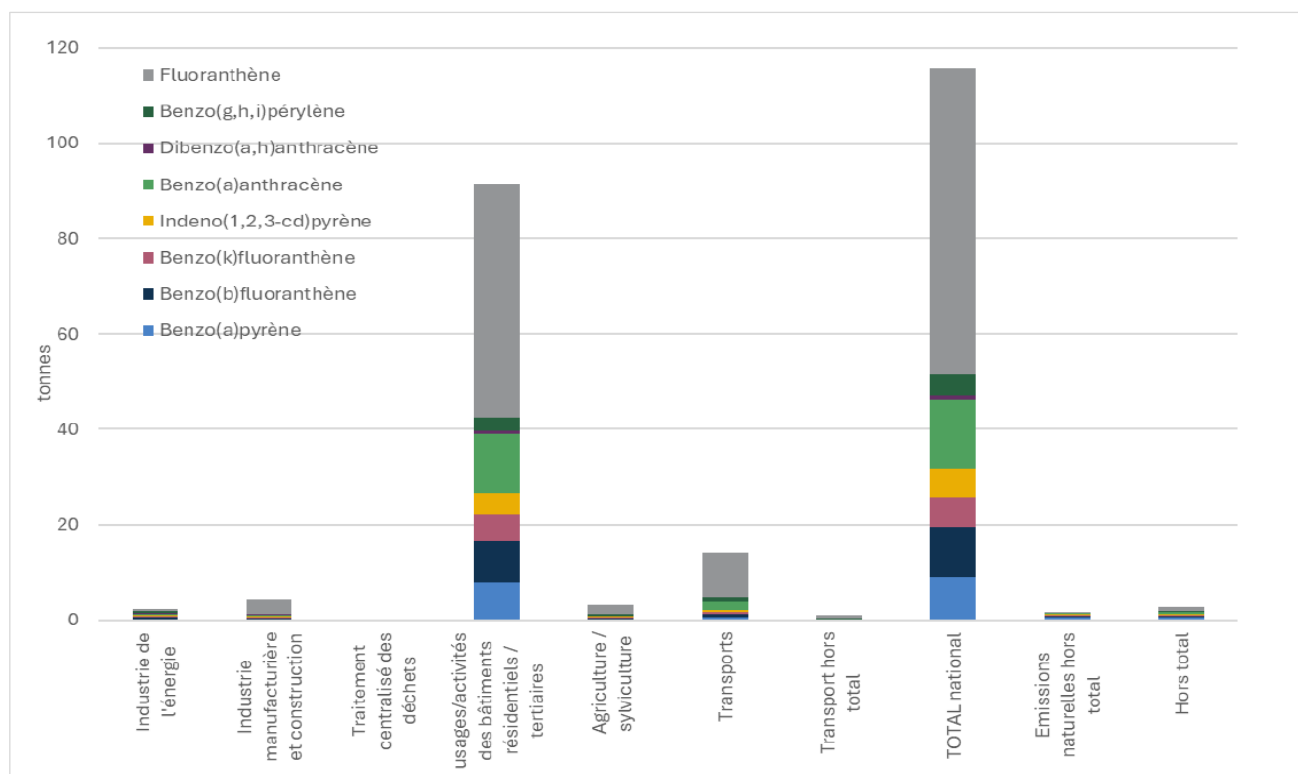


Figure 3 : Analyse des émissions atmosphériques des 8 HAP par secteur en France Métropolitaine en 2023. Figure extraite du rapport Secten²

Cette figure met en évidence la prédominance du fluoranthène, suivi du benzo(a)anthracène, dans les émissions nationales. La composition des rejets apparaît relativement similaire d'un secteur à l'autre, avec une part importante de ces deux composés ainsi que de l'indéno(1,2,3-cd)pyrène, du benzo(a)pyrène et du benzo(b)fluoranthène. Le total national dépasse 110 tonnes, valeur largement influencée par les rejets liés au chauffage résidentiel. Le total pour ces huit HAP est nettement supérieur à celui des quatre HAP suivis par le protocole d'Aarhus, comme mentionné précédemment.

Émissions en Normandie

Les émissions en Normandie sont déterminées par l'inventaire des émissions réalisé par Atmo Normandie. Le calcul de l'inventaire des émissions des polluants atmosphériques ainsi que des gaz à effet de serre consiste à estimer la quantité de ces polluants émis dans l'air à partir de différentes sources (industries, transports, chauffage, etc.) en utilisant des données d'activité, comme par exemple les comptages routiers et des facteurs d'émission spécifiques à chaque source. Ces estimations sont ensuite agrégées pour obtenir un inventaire de référence sur une période et un territoire donné.

Atmo Normandie réalise cet inventaire pour plusieurs polluants, tels que le dioxyde de soufre, les PM10 ou certains métaux lourds. Pour les HAP, cependant, l'inventaire se limite au benzo(a)pyrène contenu dans les PM10, qui est le seul HAP réglementé dans l'air ambiant.

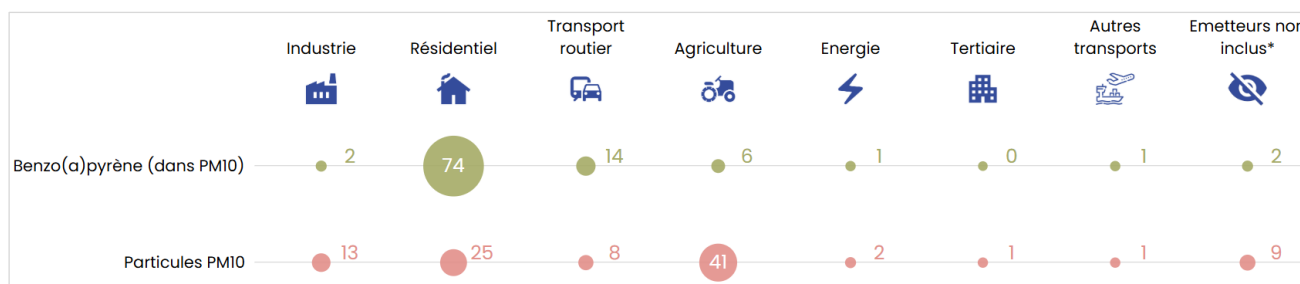


Figure 4 : Contribution des différents secteurs d'activité aux émissions de benzo(a)pyrène dans les PM10 en 2021 — Région Normandie – Inventaire version 4.1.0, par Atmo Normandie⁸

En 2021, en Normandie (Figure 4), les émissions de benzo(a)pyrène (dans la fraction PM10) proviennent majoritairement du secteur résidentiel, qui représente à lui seul 74 % du total. Les autres contributions sont nettement plus faibles : le transport routier arrive en deuxième position avec 14 %, suivi de l'agriculture (6 %), de l'industrie (2 %) et des émetteurs non inclus dans les autres catégories (2 %)⁷. Les secteurs de l'énergie et des autres transports représentent chacun 1 %, tandis que le tertiaire et d'autres catégories sont quasi négligeables. Cette prédominance du résidentiel, proche de celle observée au niveau national pour les émissions des quatre HAP encadrés par le Protocole d'Aarhus, souligne le rôle central du chauffage domestique, en particulier au bois, dans les émissions régionales de ce polluant. Ces données sont disponibles sur le site d'Atmo Normandie⁸.

2.1.2. Objectifs et rôle d'Atmo Normandie

Atmo Normandie utilise les lichens comme approche complémentaire (dépôts et air ambiant) pour évaluer les retombées atmosphériques de polluants persistants, notamment les HAP, les dioxines/furannes et les métaux. Des précisions méthodologiques sont disponibles dans le rapport de cadrage correspondant⁹.

Présents naturellement dans l'environnement, les lichens offrent une information intégrée sur la qualité de l'air dans le temps, sans nécessiter d'instrumentation lourde. Leur intérêt réside notamment dans la détection de contaminations passées ou ponctuelles (par exemple lors d'un incendie industriel) et dans la possibilité de couvrir un large territoire grâce à un maillage important de points de prélèvement. Cette méthode, utilisée depuis plus de vingt ans par Atmo Normandie pour la surveillance des dioxines/furannes et des métaux autour d'incinérateurs et de zones industrielles, a permis d'établir des valeurs repères régionales.

À la suite de l'incendie de Lubrizol et Normandie Logistique en 2019, une étude sur les retombées de HAP dans les lichens a été commandée par Lubrizol et réalisée par la société Aair Lichens sur le secteur rouennais (autour du site et jusqu'à plus de 40 km sous les vents dominants). Deux campagnes de prélèvements ont été menées : l'une peu après l'incendie en 2019, l'autre un an plus tard. Les résultats de 2019 ont mis en évidence des teneurs en HAP qualifiées « élevées » sur plusieurs points de prélèvement (par rapport à la base de données d'Aair

⁷ Les émissions liées au trafic maritime international ne sont pas comptabilisées.

⁸ https://www.atmonormandie.fr/dataviz/emissions?type_zone=5&zone_id=28&code_parametre=P6

⁹ https://www.atmonormandie.fr/sites/normandie/files/medias/documents/2023-06/Rapport%201770_C_retomb%C3%A9es.pdf

Lichens)¹⁰. En 2020, une diminution des teneurs a été observée sur ces mêmes points¹¹. Par ailleurs, lors de la seconde campagne, réalisée un an après l'incendie, des points de mesure complémentaires ont été ajoutés. Certains d'entre eux ont également présenté des valeurs dites « élevées » (par rapport à la base de données d'Air Lichens)¹⁰. Une nouvelle série de mesures a donc été engagée afin de déterminer si l'impact de l'incident Lubrizol et Normandie Logistique continue à décroître, et si les valeurs « élevées » (par rapport à la base de données d'Air Lichens)¹⁰ relevées en 2020 étaient bien liées à cet incident ou à d'autres sources de pollution.

Il n'existe à ce jour aucune valeur réglementaire ou sanitaire encadrant les teneurs de HAP dans les lichens. Les seuils dits « significatif » et « alerte » proposés par Air Lichens sont de nature environnementale, valeurs statistiques fondées sur les données historiques internes du bureau d'études. Leur terminologie peut prêter à confusion : il ne s'agit en aucun cas de seuils réglementaires ni sanitaires. Dans ce contexte, Atmo a engagé une initiative visant à développer sa base de données sur les HAP₁₆¹² dans les lichens, avec pour objectif de déterminer des valeurs repères régionales, notamment la médiane et le percentile 95. Cette approche permet de visualiser, pour chaque HAP, les teneurs proches de la médiane régionale et celles correspondant aux 5 % les plus élevées.

Pour répondre à cet objectif, 26 sites représentatifs de différentes typologies (urbains, industriels et ruraux) ont été sélectionnés à travers la Normandie, incluant les 7 sites initialement retenus pour étudier l'impact de l'incident Lubrizol et Normandie Logistique. Cette couverture élargie contribue à établir des valeurs repères régionales et facilite l'interprétation des résultats dans un contexte normal ou accidentel. Les prélèvements ont été effectués sur deux périodes distinctes : avril 2024 (fin d'hiver) et septembre 2024 (fin d'été), afin d'évaluer les variations saisonnières des HAP. Ces mesures ont également vocation à étudier d'éventuels profils chimiques distincts selon la typologie des sites et d'alimenter le programme CASPAIR¹, qui vise à évaluer l'impact environnemental des incendies accidentels.

En parallèle des mesures de HAP dans les lichens, des mesures dans l'air ambiant ont été réalisées pour les 10 HAP les plus lourds, présents sous forme particulaire (fraction PM₁₀ - particules dont le diamètre est inférieur à 10 µm)¹³. La multiplication des stations de mesure des HAP dans l'air ambiant étant impossible en raison du coût que cela représenterait, trois stations du réseau permanent de mesures d'Atmo Normandie ont été sélectionnées : Le Havre centre (HRI), Sotteville-lès-Rouen (CHS) et Saint-Saëns (SSA). Un préleveur supplémentaire a également été installé à Saint-Étienne-du-Rouvray pour l'année 2024. Des prélèvements lichéniques ont été effectués à proximité de ces stations. Bien qu'il ne soit pas possible de comparer directement les teneurs mesurées dans les lichens et les concentrations dans l'air, les études menées dans ces deux

¹⁰ Air Lichens propose le terme « d'alerte » pour distinguer les valeurs les plus élevées de sa base de données. A noter que ce seuil n'a pas de valeur sanitaire ni réglementaire.

¹¹ « Note sur les résultats des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans les lichens suite à l'incendie de LUBRIZOL et Normandie Logistique (Note établie à partir des résultats des rapports d'Air Lichens pour l'étude commandée par Lubrizol) » – Atmo Normandie juillet 2021.

¹² HAP₁₆ : Acénaphthène, Acénaphthylène, Anthracène, Benzo[a]anthracène, Benzo[a]pyrène, Benzo[b]fluoranthène, Benzo[ghi]pérylène, Benzo[k]fluoranthène, Chrysène, Dibenzo[a,h]anthracène, Fluoranthène, Fluorène, Indéno[1,2,3-cd]pyrène, Naphtalène, Phénanthrène, Pyrène.

¹³ Réglementation Européenne (directive 2008/50/CE) transcrite par décret (n°2010.1250 - 21 octobre 2010).

compartiments peuvent être mises en parallèle. Seuls 8 HAP (HAP₈)¹⁴ étaient en commun entre les méthodes de prélèvement. L'objectif est de vérifier si les évolutions saisonnières (entre hiver et été) présentent des tendances concordantes. L'analyse porte également sur la correspondance entre les fortes teneurs observées dans les lichens et une éventuelle augmentation des concentrations de benzo(a)pyrène (B(a)P) dans l'air ambiant, ainsi que sur le positionnement de ces concentrations par rapport à la valeur limite annuelle réglementaire pour le B(a)P (1 ng/m³)¹⁵. Ces comparaisons permettront d'améliorer la compréhension du comportement des HAP dans les deux compartiments.

2.2. Approche méthodologique

2.2.1. Sources de données

Atmo Normandie assure le suivi d'un observatoire des retombées atmosphériques portant sur plusieurs polluants, dont certains sont évalués à partir de mesures réalisées sur des bioindicateurs lichéniques. L'ensemble des données collectées au cours de l'année 2024 a été centralisé et intégré dans la base de données interne SAMPLAIR, outil de bancarisation et de gestion des résultats développé par Atmo Normandie pour garantir la traçabilité et l'exploitation des informations environnementales recueillies.

En ce qui concerne les volets de l'étude relatifs à l'incendie de Lubrizol et Normandie Logistique, aux effets saisonniers et à la typologie des sites, AairLichens a réalisé des prélèvements lors de deux campagnes distinctes : du 3 au 12 avril 2024 (Phase A – fin d'hiver) et du 19 au 30 septembre 2024 (Phase B – fin d'été). Les prélèvements ont été effectués sur 26 sites en Normandie, présentant des typologies variées (urbains, industriels ou ruraux). Une carte regroupant ces sites est disponible sur la Figure 5. Les échantillons ont ensuite été transmis au laboratoire d'analyse Laberca.

Pour l'étude comparative entre l'air ambiant et les lichens, quatre sites ont été sélectionnés : Le Havre – HRI, Rouvray – Mairie, Station CHS Sotteville et Saint-Saëns (Figure 5 et Annexe 1). Les prélèvements d'air ambiant ont été réalisés au cours de l'année 2024, tandis que ceux sur les lichens ont été effectués lors des Phases A et B, présentées précédemment.

¹⁴ HAP₈ : Benzo(a)anthracène, Benzo(a)pyrène, Benzo(b)fluoranthène, Benzo(g,h,i)peryène, Benzo(k)fluoranthène, Chrysène, Dibenzo(a,h)anthracène, Indéno(1,2,3-cd)pyrène

¹⁵ En France, la valeur cible pour le B(a)P dans l'air ambiant, considéré comme traceur de la pollution urbaine aux HAP et reconnu pour ces propriétés cancérigènes, est fixée à 1 ng/m³ dans la fraction PM10 en moyenne annuelle.

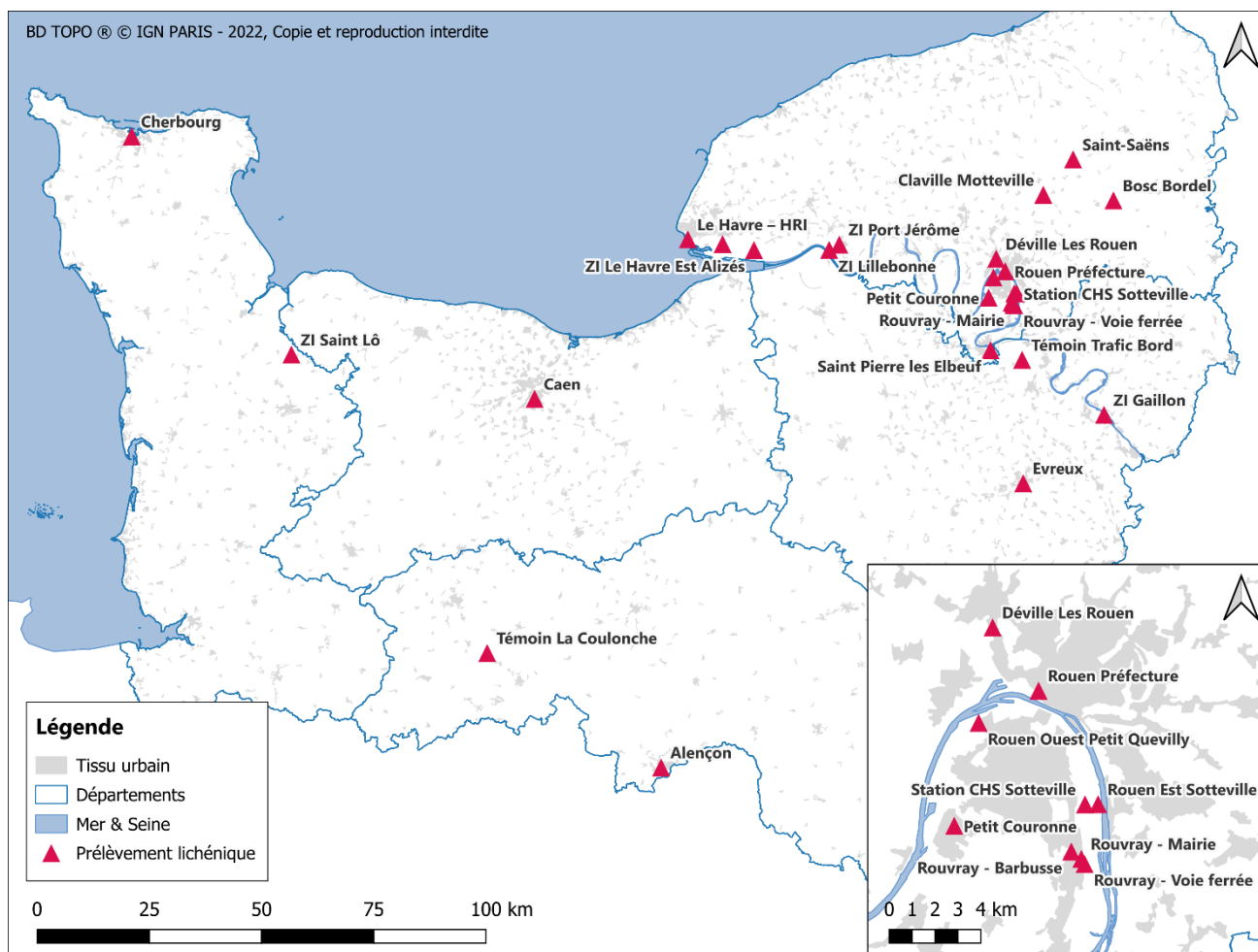


Figure 5 : Carte des 26 sites de surveillance des HAP₁₆ en Normandie

2.2.2. Méthodes et outils de traitement de données

Le logiciel RStudio (version 2024.12.1+563) a été utilisé pour tracer des ACP (Analyse en Composantes Principales) pour la partie caractérisation des profils HAP₁₆ selon la typologie de l'environnement. Par ailleurs, certains graphiques complémentaires, dont des box-plots, ont été produits à l'aide de Microsoft Excel.

Pour déterminer les valeurs repères, la médiane et le percentile 95 ont été calculés pour chaque HAP individuel et pour les HAP₁₆. La médiane est la valeur qui partage un ensemble de données en deux parties égales, avec 50 % des valeurs en dessous et 50 % au-dessus. Le percentile 95 correspond à la valeur en dessous de laquelle se trouvent 95 % des données, seuls 5 % étant plus élevées. Les résultats utilisés proviennent de 90 prélèvements réalisés par AirLichens entre 2015 et 2025. Entre 2015 et 2020, les analyses ont été effectuées par le laboratoire Carso, tandis qu'à partir de 2024, elles sont réalisées par le laboratoire Laberca. Ce changement de laboratoire analytique induit une rupture méthodologique, justifiant la présentation de deux historiques distincts, chacun rattaché à un laboratoire spécifique :

- **Pour le laboratoire Carso** : les données de l'année 2019 n'ont pas été prises en compte, car elles sont directement liées à l'incendie de Lubrizol et de Normandie Logistique. Les valeurs repères, pour la période 2015-2020 ont ainsi été établies à partir de 36 données.
- **Pour le laboratoire Laberca** : les prélèvements couvrent deux saisons (été et hiver). Compte tenu de l'influence de la saisonnalité sur les teneurs de HAP dans les lichens, trois jeux de données ont été distingués à partir de 2024 :
 - Un historique global intégrant les données des deux saisons (52 données) ;
 - Un historique hivernal (27 données) ;
 - Un historique estival (25 données).

Dans chaque cas, la médiane et le percentile 95 ont été calculés pour chaque HAP et pour la somme des HAP₁₆, afin de constituer les valeurs repères utilisées pour l'interprétation des résultats futurs.

2.2.3. Limites

Concernant la comparaison entre les données mesurées dans l'air ambiant et celles issues des lichens, plusieurs contraintes ont été rencontrées avec certaines données absentes en raison de dysfonctionnements techniques sur les préleveurs.

De plus, il n'a pas toujours été possible de réaliser des prélèvements de lichens à proximité immédiate des stations de mesure de l'air (Annexe 1). L'une des principales difficultés réside dans la disponibilité même des lichens : ceux-ci ne sont pas présents partout en particulier dans des zones où il serait pourtant pertinent de mener des mesures. Cette difficulté peut s'expliquer par l'absence d'arbres, ou par la présence d'arbres sans lichens (*Phycia adscendens*, *Xanthoria parietina*, etc.), notamment dans des secteurs fortement industrialisés ou pollués (comme certaines zones industrielles), où les conditions environnementales ne sont pas favorables au développement des lichens.

Une autre limite importante concerne le changement de laboratoire analytique, réalisé entre 2020 et 2024, passant de Carso à Laberca. Ce changement peut introduire des différences dans les protocoles ou les méthodes d'analyse, ainsi que dans les limites de quantification ou de détection. Cela est particulièrement important pour la section « 3.1. État des lieux après l'incendie Lubrizol et Normandie Logistique », car les séries de résultats avant et après ce changement doivent être interprétées avec prudence lorsqu'on étudie les évolutions temporelles.

3. Résultats

3.1. État des lieux après l'incendie Lubrizol et Normandie Logistique

En complément de la campagne de mesures de 2019, faisant suite à l'incident Lubrizol et Normandie Logistique, une seconde a été réalisée en 2020. Les résultats ont montré une forte décroissance des concentrations sur plusieurs sites, confirmant que les valeurs dites « élevées¹⁰ » (selon les seuils utilisés par le bureau d'étude AirLichens) mesurées en 2019 étaient liées à l'impact de l'incendie. Cependant, en 2020, des teneurs dites « élevées¹⁰ » (selon les seuils utilisés par le bureau d'étude AirLichens) en HAP₁₆ ont été observées sur le site de Saint-Etienne-du-Rouvray (site non investigué en 2019), un site supposé non affecté par l'incendie, puisqu'il se trouve en dehors du panache de pollution généré par l'incendie¹¹. Deux nouvelles campagnes de mesure ont été menées en avril (Phase A – fin d'hiver) et septembre (Phase B – fin d'été) 2024 afin de poursuivre l'étude de l'impact de l'incendie. Les résultats pour les HAP₁₆ et le B(a)P sont présentés dans les Figures 6 et 7. Il est important de noter que le laboratoire analytique a changé, passant de Carso à Laberca.

En 2019, certaines teneurs mesurées pour les HAP₁₆ et le B(a)P étaient particulièrement « élevées »¹⁰, notamment sur les sites de Bosc-Bordel, Déville-lès-Rouen et Rouen Préfecture, avec des concentrations respectives de 3 065, 2 293 et 1 189 µg/kg MS pour les HAP₁₆, et de 160, 153 et 101 µg/kg MS pour le B(a)P. Ces valeurs ont progressivement diminué lors des campagnes suivantes, jusqu'aux prélèvements de l'hiver 2024, où les teneurs mesurées étaient nettement inférieures : pour les HAP₁₆, 316 µg/kg MS à Bosc-Bordel, 456 µg/kg MS à Déville-lès-Rouen et 333 µg/kg MS à Rouen Préfecture ; pour le B(a)P, 24,1 µg/kg MS à Bosc-Bordel, 29,2 µg/kg MS à Déville-lès-Rouen et 24,8 µg/kg MS à Rouen Préfecture. Ces résultats peuvent refléter l'impact de l'incendie de Lubrizol et Normandie Logistique sur les prélèvements de 2019, les niveaux relevés cette année-là constituant des pics isolés au regard de l'ensemble des données historiques. Les diminutions entre 2020 et 2024 peuvent également s'expliquer par le changement du laboratoire analytique.

Dans certains cas, les concentrations mesurées en 2020 étaient supérieures à celles de 2019, notamment sur les sites de Claville-Motteville et Saint-Saëns, tant pour les HAP₁₆ que pour le B(a)P. Cela pourrait s'expliquer par la présence de sources locales indépendantes de l'incident de Lubrizol et Normandie Logistique, ou par un effet saisonnier : les prélèvements de 2019 ont eu lieu en octobre, période où le chauffage domestique a encore peu d'impact, tandis que ceux de 2020 ont été réalisés en décembre, moment où cet effet est plus marqué.

Entre les périodes 2019/2020 et 2024, une baisse généralisée des teneurs en HAP₁₆ et en B(a)P a été observée sur l'ensemble des sites. Cette tendance est également visible à Saint-Étienne-du-Rouvray - Mairie, où les teneurs ont nettement diminué par rapport aux niveaux « élevés » mesurés en 2020. Toutefois, malgré cette baisse, les teneurs en B(a)P restent supérieures à 60 µg/kg MS en 2024, ce qui demeure plus élevé que celles enregistrées sur les autres sites. Cette persistance de niveaux relativement marqués pourrait suggérer l'existence d'un bruit de fond localement élevé, qu'il conviendrait d'explorer davantage.

Les baisses de teneurs en HAP₁₆ entre décembre 2020 et septembre 2024 varient selon les sites : elles atteignent jusqu'à 90 % à Saint-Saëns, contre environ 47 % à Rouen Préfecture. Cette diminution est généralement plus marquée entre décembre et septembre qu'entre décembre et avril, reflétant un effet saisonnier. À titre d'exemple, à Bosc-Bordel, les teneurs diminuent légèrement (–3,2 %) entre décembre 2020 et avril 2024, mais plus fortement (–37,6 %) entre décembre 2020 et septembre 2024.

L'étude des accumulations dans les lichens met en évidence un marquage environnemental lié à l'incendie de Lubrizol et Normandie Logistique, suivi d'une baisse progressive des concentrations. Ces résultats confirment l'intérêt des lichens comme bioindicateurs pour le suivi de la pollution lors d'événements ponctuels. Il convient toutefois de rester prudent dans l'interprétation, car la diminution observée peut également être influencée par le changement de laboratoire analytique, en plus des effets saisonniers.

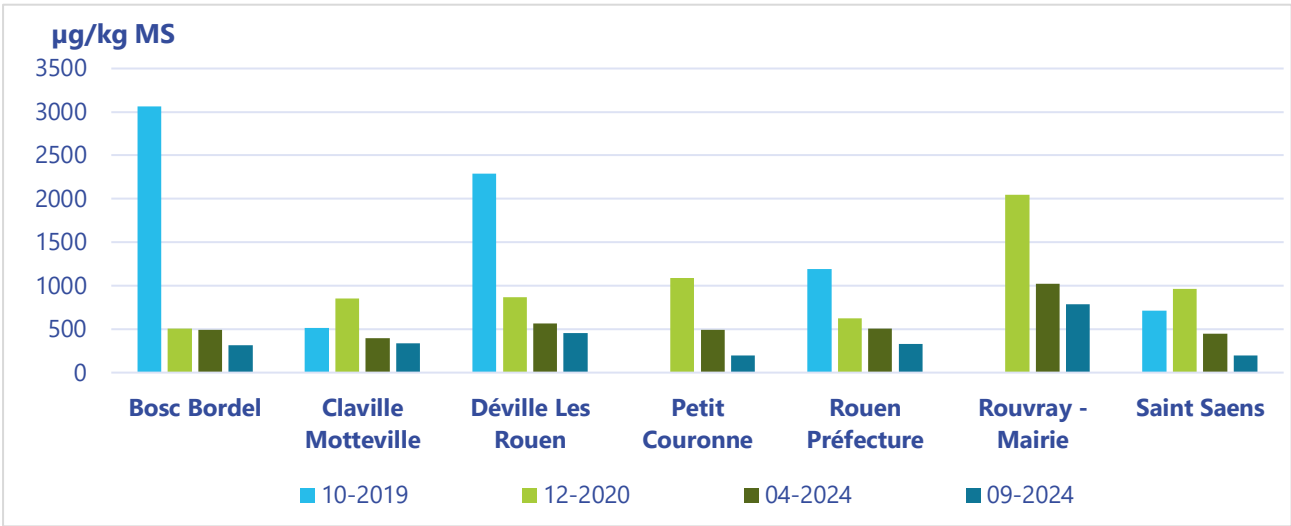


Figure 6 : Évolution des teneurs totales (µg/kg MS) en HAP₁₆ : comparaison 2019, 2020 et 2024

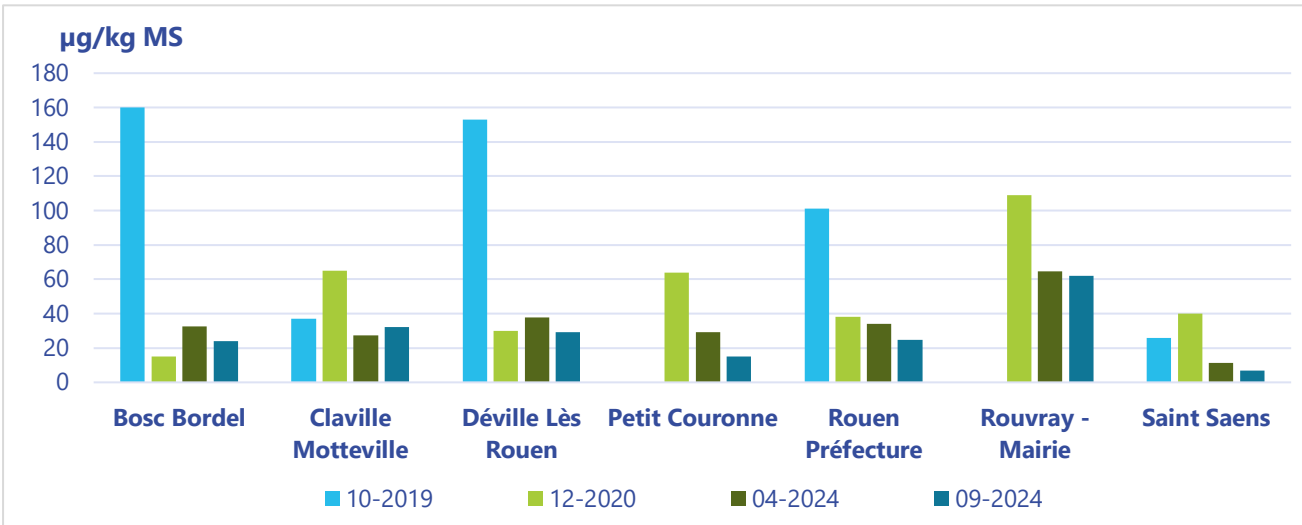


Figure 7 : Évolution des teneurs (µg/kg MS) en B(a)P : comparaison 2019, 2020 et 2024

3.2. Effet saisonnier

Deux campagnes de prélèvements ont été réalisées sur deux périodes distinctes : du 3 au 12 avril 2024 (Phase A - fin d'hiver) et du 19 au 30 septembre 2024 (Phase B - fin d'été). L'objectif était de comparer les résultats obtenus entre ces deux saisons afin d'étudier un éventuel effet saisonnier, possiblement lié à l'impact du chauffage hivernal. Les prélèvements ont été effectués sur 26 sites en Normandie. Les résultats pour les HAP₁₆ et le B(a)P sont présentés dans les Figures 8 et 9. Les données détaillées sont disponibles en Annexe 3.

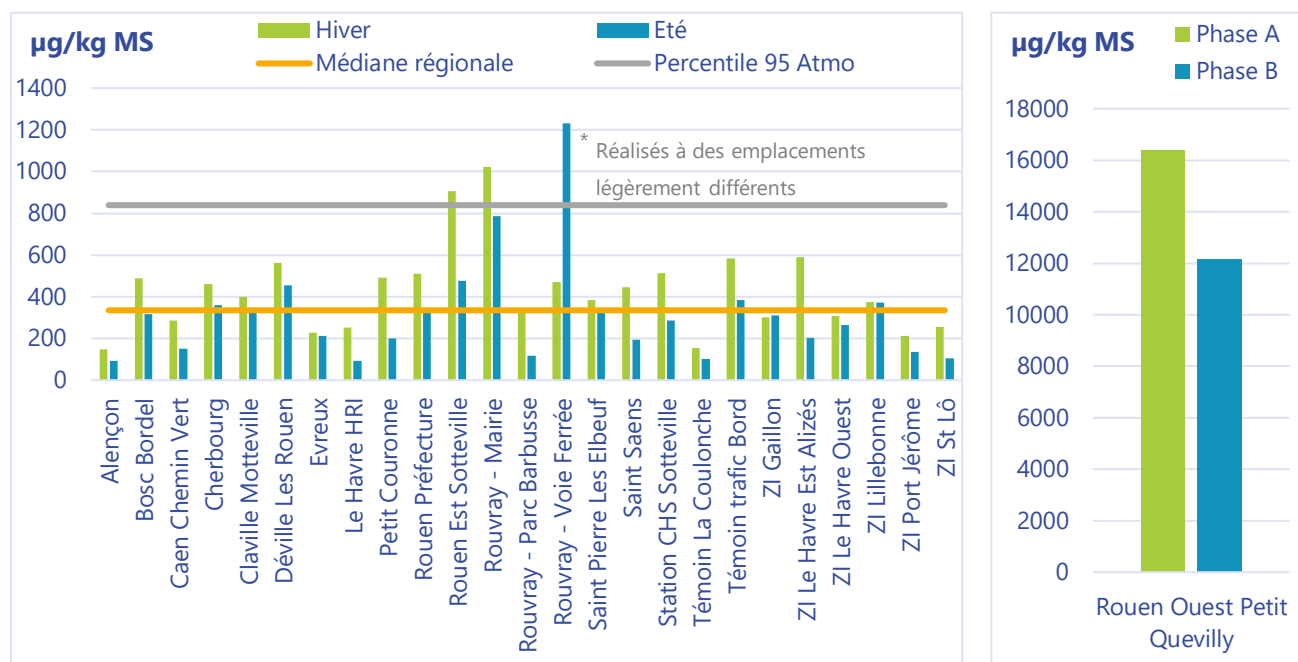


Figure 8 : Évolution des teneurs 2024 (µg/kg MS) en HAP₁₆ : comparaison Phases A et B

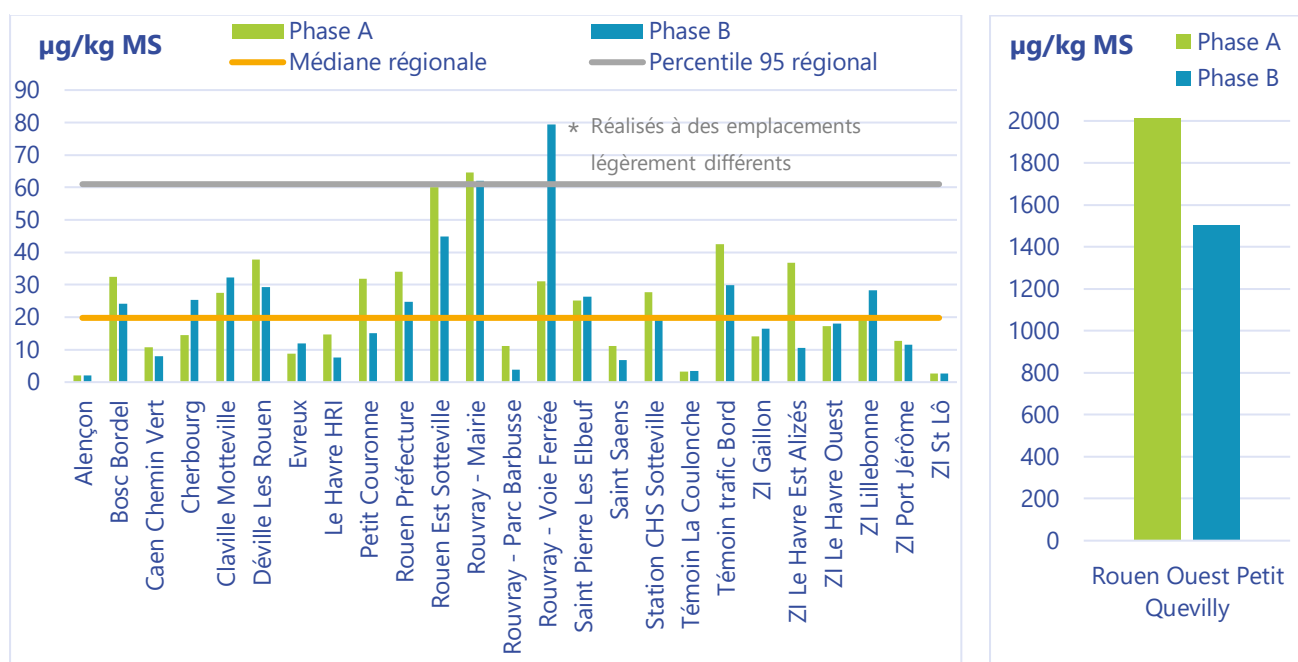


Figure 9 : Evolution des teneurs 2024 (µg/kg MS) en B(a)P : comparaison Phases A et B

Les teneurs en HAP₁₆ sont globalement plus élevées en période hivernale (Phase A) qu'en période estivale (Phase B) sur 24 des 26 sites étudiés. Les diminutions varient selon les sites : de seulement 1,1 % à ZI Lillebonne à 65,6 % à Saint-Étienne-du-Rouvray – Parc Henri-Barbusse (deux exceptions sont à noter, avec une augmentation des teneurs en Phase B à Saint-Étienne-du-Rouvray – Voie Ferrée et à ZI Gaillon). Ces résultats confirment une forte saisonnalité des retombées atmosphériques en HAP₁₆, avec des concentrations plus élevées en hiver. Cette tendance s'explique probablement par l'augmentation des émissions liées au chauffage domestique et par des conditions météorologiques défavorables à la dispersion (couche d'inversion thermique, stabilité atmosphérique, basses températures favorisant la phase particulaire des HAP), comme l'ont montré Augusto et al. (2013)¹⁶ et le rapporte également le CITEPA dans le rapport Secten (2025)². À l'inverse, en été, l'intensification de l'activité photochimique favorise la dégradation des HAP.

Quatre sites présentent des concentrations supérieures au percentile 95 défini par Atmo Normandie pour les HAP₁₆ (839 µg/kg MS) :

- Saint-Étienne-du-Rouvray – Mairie (Phase A)
- Saint-Étienne-du-Rouvray – Voie Ferrée (Phase B)
- Rouen Est – Sotteville (Phase A)
- Rouen Ouest – Petit-Quevilly (Phases A et B)

Le percentile 95 a été établi à partir des résultats produits par le laboratoire Laberca, sur la base de prélèvements réalisés en hiver et en été 2024. Des valeurs de référence saisonnières sont également disponibles dans la section « 3.3.1. Historique d'Atmo Normandie ».

Parmi ces sites, Rouen Ouest – Petit-Quevilly se distingue par des teneurs particulièrement élevées, atteignant 16 386 µg/kg MS en Phase A et 12 135 µg/kg MS en Phase B, soit des niveaux largement supérieurs au seuil du percentile 95 (839 µg/kg MS). Une analyse détaillée de ces quatre sites est présentée dans la section « 3.6. Focus sur les sites aux teneurs les plus marquées ».

Pour le B(a)P, les tendances sont plus variables : 15 sites montrent une baisse entre les deux phases, 9 une augmentation, et 2 restent stables. Les variations observées vont d'une diminution maximale de 71,2 % à une augmentation pouvant atteindre 155,6 % (Rouvray – Voie Ferrée). Dans le cas de Saint-Etienne-du-Rouvray – Voie Ferrée, cette hausse doit toutefois être interprétée avec prudence, l'emplacement de la Phase B étant légèrement différent de celui de la Phase A. Le percentile 95 d'Atmo Normandie pour le B(a)P est de 61 µg/kg MS.

¹⁶ Augusto, S., Pereira, M. J., Máguas, C., & Branquinho, C. (2013). A step towards the use of biomonitors as estimators of atmospheric PAHs for regulatory purposes. *Chemosphere*, 92(5), 626–632. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.03.012>

3.3. Valeurs repères régionales

3.3.1. Historique d'Atmo Normandie

Atmo Normandie dispose de résultats concernant les HAP mesurés dans les lichens, issus de 90 prélèvements réalisés par AirLichens entre 2015 et 2025. Entre 2015 et 2020, les échantillons ont été analysés par le laboratoire Carso. Depuis 2024, les analyses sont confiées au laboratoire Laberca. Ce changement de laboratoire induit une rupture méthodologique et une discontinuité dans les séries de résultats. Pour cette raison, deux historiques distincts sont présentés, chacun rattaché à un laboratoire spécifique : Carso et Laberca.

Pour Laberca, les prélèvements couvrent deux saisons : été et hiver. Comme évoqué précédemment, la saisonnalité influence significativement les concentrations de HAP dans les lichens. Il a donc été décidé de distinguer trois jeux de données à partir de 2024 :

- Un historique global intégrant l'ensemble des données (été + hiver),
- Un historique restreint aux données hivernales,
- Un historique limité aux données estivales.

Les valeurs repères constituant les historiques ont été déterminées en calculant la médiane et le percentile 95 pour chaque HAP individuellement, ainsi que pour la somme des HAP₁₆.

Historique réalisé à partir des analyses réalisées par le laboratoire Carso

L'historique établi à partir des données fournies par le laboratoire Carso (2015-2020, hors résultats de 2019 liés à l'étude sur l'impact de l'incendie de Lubrizol et de Normandie Logistique) est présenté, car il servira de référence pour l'interprétation des résultats obtenus en 2019, à la suite de l'incendie. Jusqu'à présent, ces données avaient été analysées selon les seuils définis par le bureau d'études AirLichens.

	Naphtalène	Acénaphtylène	Acénaphène	Fluorène	Phénanthrène	Anthracène	Fluoranthène	Pyrène
Médiane	9,6	5,0	3,2	7,0	121	0	106	130
Percent95	86	14	12	26	246	44	181	220

	B(a)A	Chrysène	B(b)F	B(k)F	B(a)P	Di(a,h)A	B(g,h,i)P	In(1,2,3-c,d)P	HAP ₁₆
Médiane	17,0	74,5	39,0	15,0	25,5	4,0	33,0	25,5	677
Percent95	91	149	163	46	93	31	119	77	1 382

Tableau 2 : médianes et percentiles 95 ($\mu\text{g/kg MS}$) de l'observatoire pour les HAP₁₆ pour le laboratoire Carso (2015-2022, $n=36$).
B(a)A : Benzo(a)anthracène, B(b)F : Benzo(b)fluoranthène, B(k)F : Benzo(k)fluoranthène, Di(a,h)A : Dibenzo(a,h)anthracène,
B(g,h,i)P : Benzo(g,h,i)pérylène, In(1,2,3-c,d)P : Indéno(1.2.3-c.d)pyrène

Historique réalisé à partir des analyses réalisées par le laboratoire Laberca – hiver/été confondus

Dans un premier temps, les valeurs repères, établies à partir des données de l'année 2024 (toutes saisons confondues), sont présentées. Elles se situent à un niveau intermédiaire entre celles observées en hiver et celles relevées en été. Ces valeurs de référence reposent sur un ensemble de 52 données. Les données du site Rouen Ouest Petit Quevilly, présentant des teneurs anormalement élevées, n'ont pas été prises en compte dans cet historique.

	Naphtalène	Acénaphthylène	Acénaphthène	Fluorène	Phénanthrène	Anthracène	Fluoranthène	Pyrène
Médiane	7,5	1,5	1,4	4,5	45,8	3,3	68,1	47,6
Percent95	44	6	5	15	128	13	165	114

	B(a)A	Chrysène	B(b)F	B(k)F	B(a)P	Di(a,h)A	B(g,h,i)P	In(1,2,3-c,d)P	HAP ₁₆
Médiane	10,5	29,1	27,7	13,6	19,8	3,8	25,1	23,2	335
Percent95	28	62	69	35	61	10	68	63	839

Tableau 3 : médianes et percentiles 95 ($\mu\text{g/kg MS}$) de l'observatoire pour les HAP₁₆ pour le laboratoire Laberca (2024-2025, $n=52$). B(a)A : Benzo(a)anthracène, B(b)F : Benzo(b)fluoranthène, B(k)F : Benzo(k)fluoranthène, Di(a,h)A : Dibenzo(a,h)anthracène, B(g,h,i)P : Benzo(g,h,i)pérylène, In(1,2,3-c,d)P : Indéno(1.2.3-c.d)pyrène

En comparant ces données avec celles issues des analyses du laboratoire Carso, notamment pour les HAP₁₆, la médiane diminue de 677 à 335 $\mu\text{g/kg MS}$, tandis que le percentile 95 passe de 1 382 à 839 $\mu\text{g/kg MS}$. Ces écarts peuvent être liés au changement de laboratoire analytique entre 2020 et 2024. En conséquence, il a été décidé de ne pas regrouper les résultats des deux laboratoires dans l'historique et d'introduire une rupture dans les séries pour garantir la cohérence des données.

Historique réalisé à partir des analyses réalisées par le laboratoire Laberca – hiver

Dans un second temps, les valeurs repères, établies à partir des données hivernales de l'année 2024 sont présentées. Ces valeurs de référence reposent sur un ensemble de 27 données. Les données du site Rouen Ouest Petit Quevilly, présentant des teneurs anormalement élevées, n'ont pas été prises en compte dans l'historique.

	Naphtalène	Acénaphthylène	Acénaphthène	Fluorène	Phénanthrène	Anthracène	Fluoranthène	Pyrène
Médiane	10,0	2,6	1,7	5,6	66,8	5,8	91,7	59,9
Percent95	50	9	4	13	131	15	161	110

	B(a)A	Chrysène	B(b)F	B(k)F	B(a)P	Di(a,h)A	B(g,h,i)P	In(1,2,3-c,d)P	HAP ₁₆
Médiane	14,4	34,2	33,2	15,6	25,1	4,8	27,0	26,6	444
Percent95	27	59	61	31	58	10	70	59	845

Tableau 4 : médianes et percentiles 95 ($\mu\text{g/kg MS}$) de l'observatoire pour les HAP₁₆ pour le laboratoire Laberca (hiver 2024-2025, $n=27$). B(a)A : Benzo(a)anthracène, B(b)F : Benzo(b)fluoranthène, B(k)F : Benzo(k)fluoranthène, Di(a,h)A : Dibenzo(a,h)anthracène, B(g,h,i)P : Benzo(g,h,i)pérylène, In(1,2,3-c,d)P : Indéno(1.2.3-c.d)pyrène

Historique réalisé à partir des analyses réalisées par le laboratoire Laberca – été

Enfin, les valeurs repères, établies à partir des données estivales de l'année 2024 sont présentées. Ces valeurs de référence reposent sur un ensemble de 25 données. Les données du site Rouen Ouest Petit Quevilly, présentant des teneurs anormalement élevées, n'ont pas été prises en compte dans l'historique.

	Naphtalène	Acénaphthylène	Acénaphtène	Fluorène	Phénanthrène	Anthracène	Fluoranthène	Pyrène
Médiane	6,0	0,5	1,3	3,8	35,1	2,5	53,3	36,5
Percent95	14	2	14	33	98	7	150	100

	B(a)A	Chrysène	B(b)F	B(k)F	B(a)P	Di(a,h)A	B(g,h,i)P	In(1,2,3-c,d)P	HAP ₁₆
Médiane	9,1	19,5	20,3	10,1	18,1	2,6	19,1	19,8	285
Percent95	27	56	68	34	59	9	53	61	724

Tableau 5 : médianes et percentiles 95 ($\mu\text{g/kg MS}$) de l'observatoire pour les HAP₁₆ pour le laboratoire Laberca (été 2024-2025, $n=25$). B(a)A : Benzo(a)anthracène, B(b)F : Benzo(b)fluoranthène, B(k)F : Benzo(k)fluoranthène, Di(a,h)A : Dibenzo(a,h)anthracène, B(g,h,i)P : Benzo(g,h,i)pérylène, In(1,2,3-c,d)P : Indéno(1.2.3-c.d)pyrène

En comparant ces données avec celles de la saison hivernale, notamment pour les HAP₁₆, la médiane diminue de 444 à 285 $\mu\text{g/kg MS}$, tandis que le percentile 95 passe de 845 à 724 $\mu\text{g/kg MS}$. Ces écarts confirment les observations présentées dans la section précédente : les HAP présentent un effet saisonnier marqué, avec des concentrations plus élevées en hiver. Il peut donc être nécessaire d'utiliser un historique spécifique à chaque saison, en fonction de la période de prélèvement des lichens.

3.3.2. Comparaison des valeurs repères régionales et post-incendie – Lubrizol et Normandie Logistique 2019

À la suite de l'incendie des entreprises Lubrizol et Normandie Logistique en septembre 2019, une campagne de mesure des HAP₁₆ a été menée dans les lichens en octobre 2019, afin d'évaluer l'impact potentiel de l'accident industriel sur l'environnement. En l'absence d'un historique suffisant dans les bases de données d'Atmo Normandie à cette époque, il n'a pas été possible de comparer directement les résultats obtenus aux niveaux de référence régionaux. Des seuils de référence issus de la base de données d'AirLichens ont donc été utilisés : un seuil d'alerte (1 500 $\mu\text{g/kg MS}$), et un seuil significatif (220 $\mu\text{g/kg MS}$)¹⁰.

Depuis de nouvelles campagnes de mesures ont permis d'établir des valeurs repères propres à la région, présentées dans la section précédente « 3.3.1. Historique d'Atmo Normandie ». La Figure 10 présente les teneurs en HAP₁₆ mesurées en octobre 2019, comparées aux valeurs repères définies par Atmo Normandie, pour le laboratoire Carso (2015-2020). Ce graphique avait déjà été présenté dans une précédente note, accompagné cette fois des valeurs repères proposées par AirLichens¹¹.

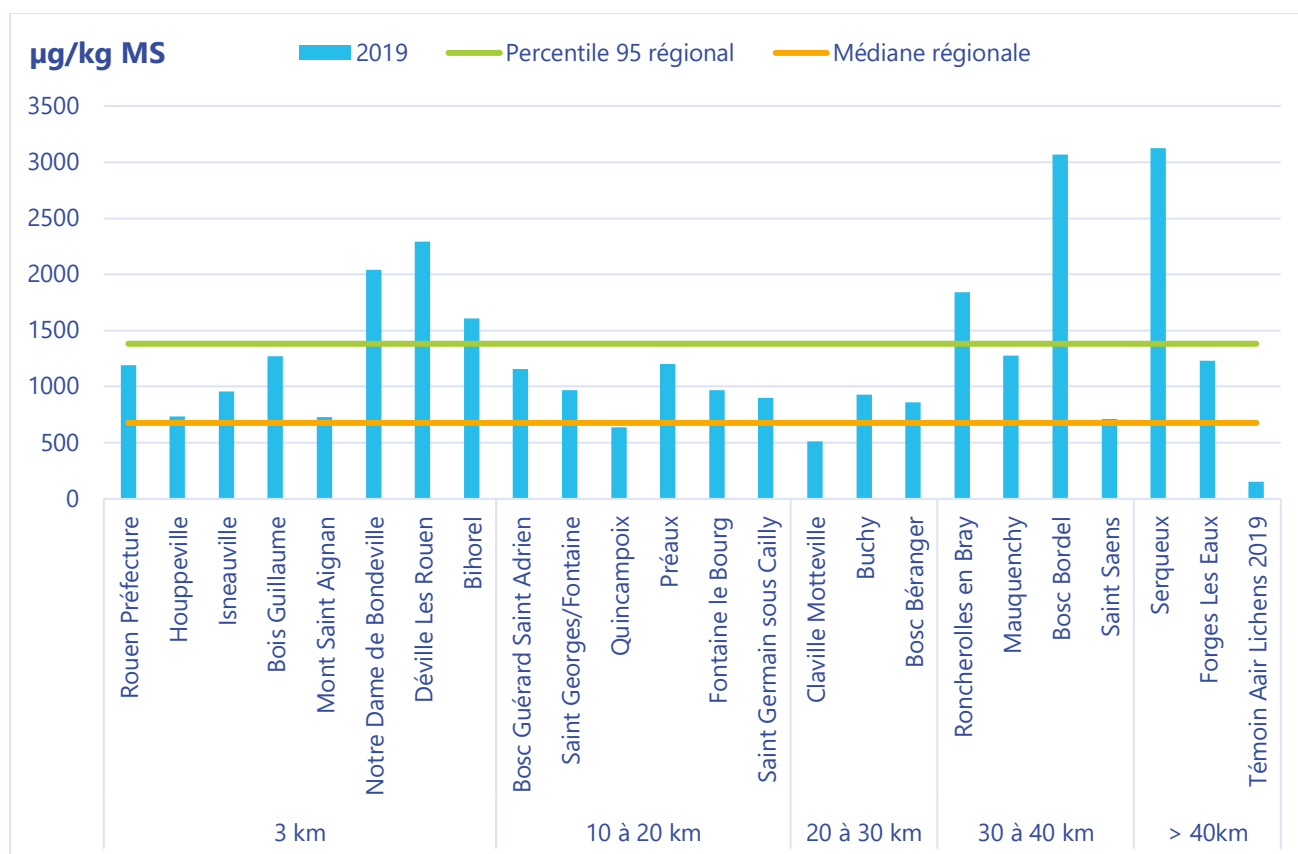


Figure 10 : Retombées des HAP₁₆ dans les lichens à la suite de l'incendie Lubrizol et Normandie Logistique (2019)

Les références régionales établies à partir de 36 données par Atmo Normandie sont de 1 382 µg/kg MS pour le percentile 95 et de 677 µg/kg MS pour la médiane. En comparant ces seuils aux résultats obtenus à la suite de l'incendie, il apparaît que, pour la majorité des sites (sauf Quincampoix et Claville Motteville), les teneurs en HAP₁₆ étaient supérieures à la médiane. Par ailleurs, 6 sites sur 23 présentaient des concentrations supérieures au percentile 95, ce qui traduit un marquage environnemental notable. Cette observation rejoint les conclusions tirées à partir des seuils issus de l'historique national du bureau d'études AirLichens.

La mise à disposition de ces valeurs régionales constitue un élément utile pour interpréter les résultats, notamment dans le contexte d'événements accidentels comme un incendie, mais aussi plus largement pour l'étude des retombées atmosphériques.

3.4. Profils types de HAP selon la typologie de site

Méthodologie

Cette section vise à déterminer si des profils types de répartition des HAP₁₆ peuvent être associés aux différentes typologies de sites : urbains, industriels et ruraux. Trois approches complémentaires ont été mobilisées. Premièrement, des graphiques empilés ont été réalisés pour les 26 sites étudiés, représentant les proportions des HAP₁₆ regroupés selon leur nombre de cycles (de 2 à 6) :

- **2 cycles** : naphtalène
- **3 cycles** : acénaphylène, acénaphène, anthracène, fluorène, phénanthrène

- **4 cycles** : fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène
- **5 cycles** : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, dibenzo(a,h)anthracène
- **6 cycles** : benzo(g,h,i)pérylène, indéno(1,2,3-cd)pyrène

Les sites ont été regroupés par typologie¹⁷ (urbain, industriel et rural), et les résultats sont présentés séparément pour les phases A (hiver) et B (été) dans les Figures 11 et 12.

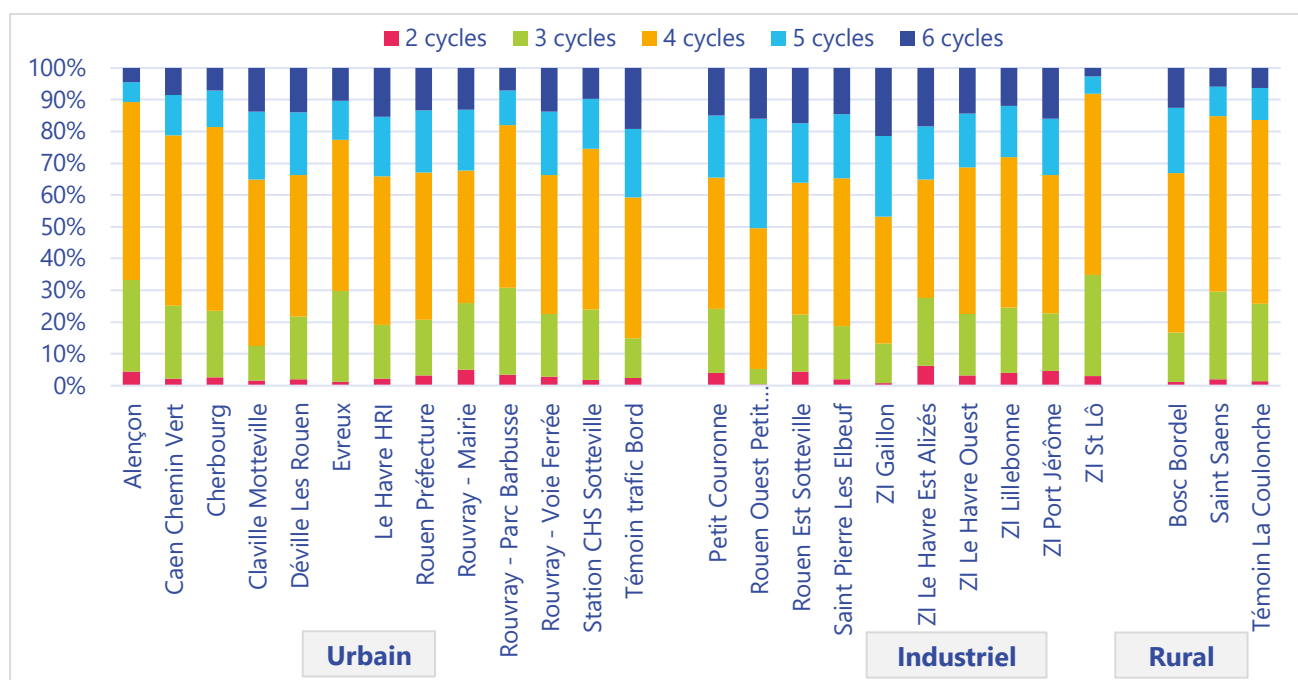


Figure 11 : Profils en HAP₁₆ selon la typologie des sites – Phase A (hiver 2024)

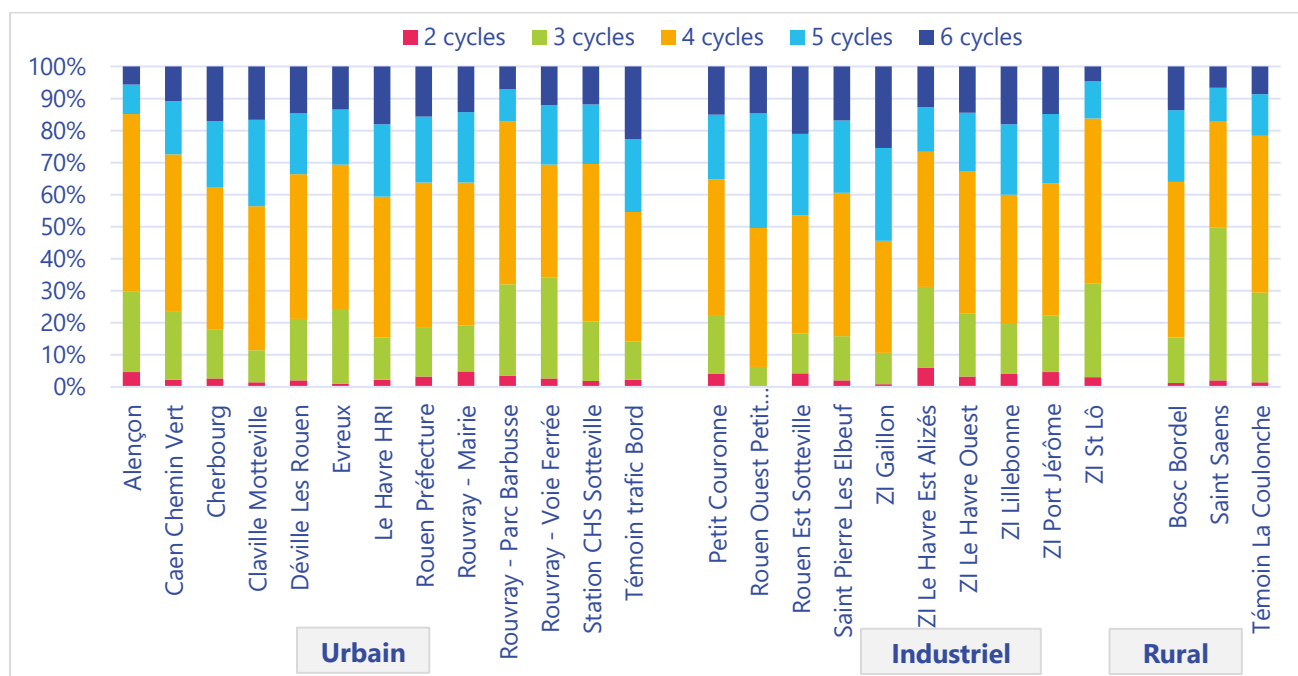


Figure 12 : Profils en HAP₁₆ selon la typologie des sites – Phase B (été 2024)

¹⁷ Malgré ce classement, il peut néanmoins exister une certaine hétérogénéité des sites au sein d'une même typologie

Deuxièmement, des box-plots ont été réalisés afin de comparer les distributions des proportions de HAP₁₆ (par nombre de cycles) entre typologies urbaines (13 sites) et industrielles (10 sites). Les sites ruraux ont été exclus de cette analyse statistique en raison d'un effectif insuffisant pour produire des représentations fiables (3 sites).

Les box-plots permettent une visualisation synthétique et comparative des données. Ils représentent la médiane (valeur centrale), les quartiles (percentiles 25 et 75, qui encadrent la moitié des données), ainsi que les valeurs extrêmes et les points atypiques (outliers). La longueur de la boîte donne une indication de la dispersion des données, tandis que les éventuels points situés en dehors des moustaches signalent des valeurs exceptionnellement hautes ou basses.

Par exemple, si la médiane d'un groupe est plus élevée que celle d'un autre, cela signifie que ses valeurs sont globalement plus fortes. De même, une boîte plus étroite indique une distribution plus resserrée autour de la médiane. Les box-plots sont disponibles sur les Figures 13 et 14.

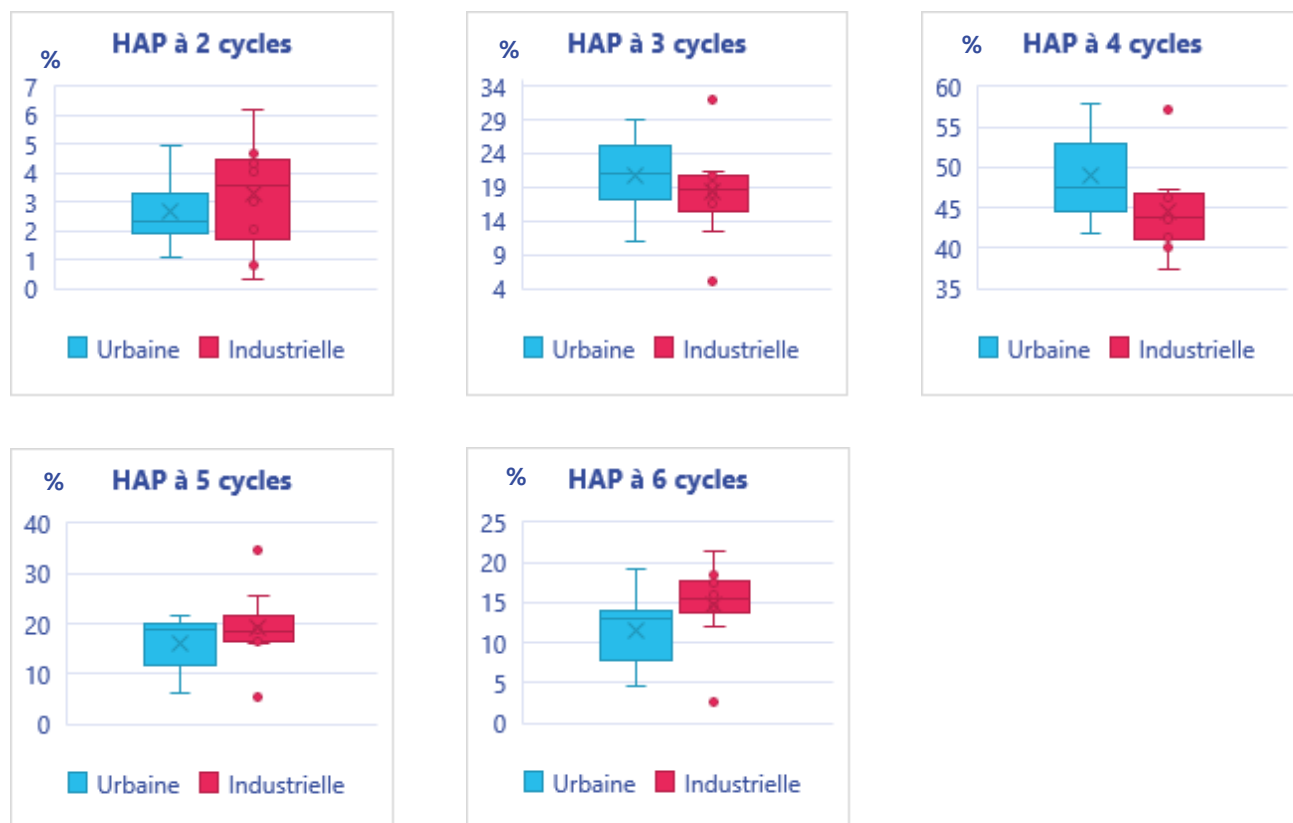


Figure 13 : Box-plots représentant les différences entre les typologies urbaine et industrielle – Phase A

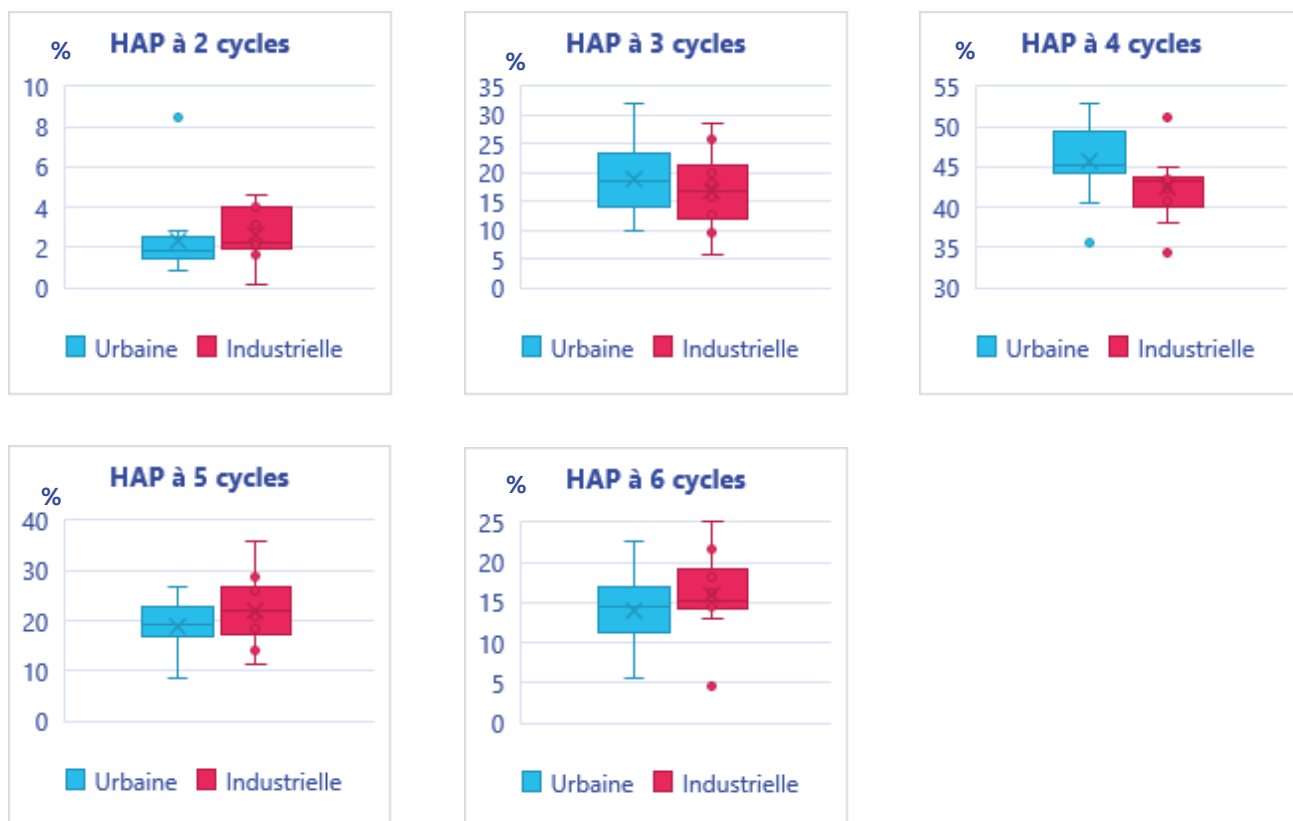


Figure 14 : Box-plots représentant les différences entre les typologies urbaine et industrielle – Phase B

Enfin, des Analyses en Composantes Principales (ACP) ont été réalisés pour les deux Phases, avec les pourcentages des HAP répartis en nombre de cycles. Elles permettent de réduire la dimension des données tout en conservant l'essentiel de l'information. Après élimination des outliers, les deux premières dimensions ont été retenues, expliquant une grande partie de la variance. Des ellipses de confiance à 75% ont été tracées pour visualiser la concentration des groupes. Les ACP pour les Phases A et B sont disponibles dans les Figures suivantes.

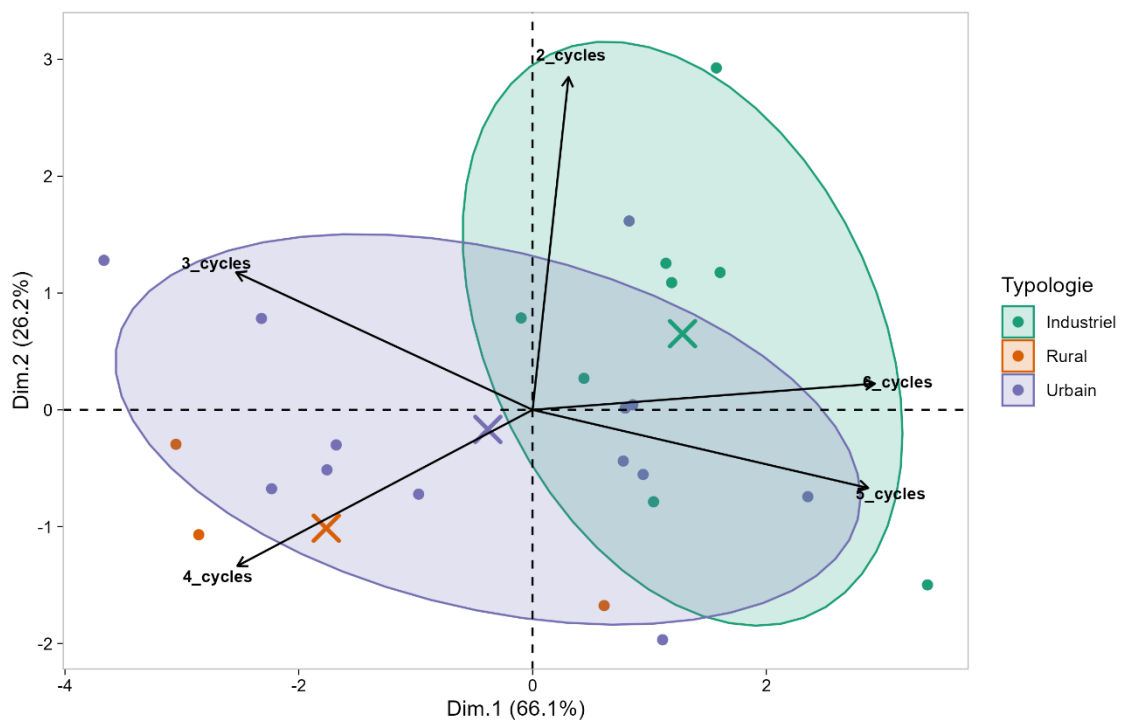


Figure 15 : ACP représentant les 26 sites de typologies différentes – Phase A

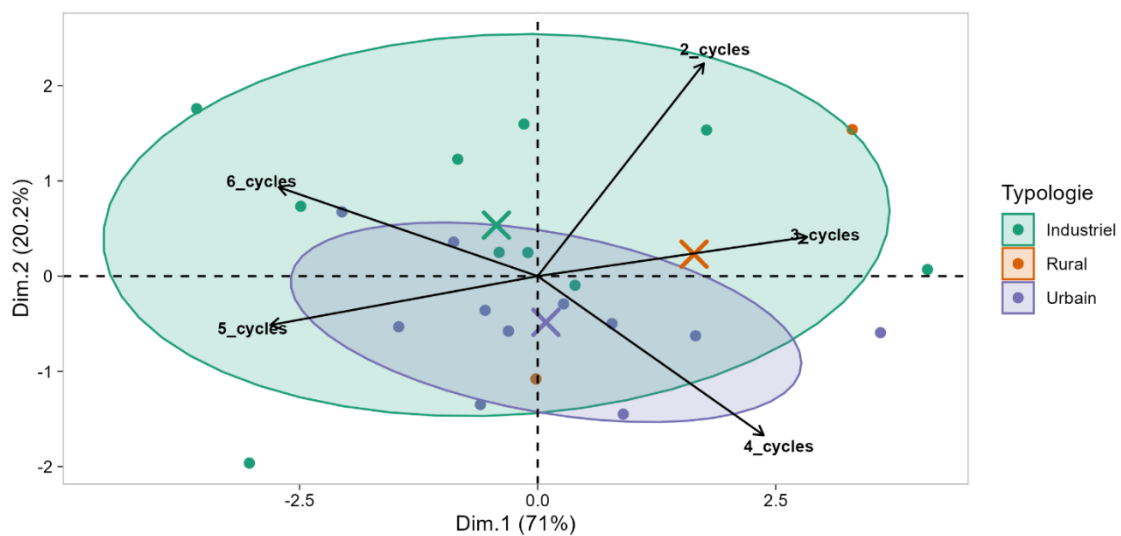


Figure 16 : ACP représentant les 26 sites de typologies différentes – Phase B

Discussion sur les résultats

Les graphiques empilés pour les Phases A et B montrent une nette dominance des HAP lourds (4, 5 et 6 cycles), avec une prédominance des HAP à 4 cycles, bien qu'ils ne représentent que 4 des 16 HAP analysés. Cette observation peut refléter leur présence environnementale plus élevée ou leur meilleure affinité pour les lichens, comparativement aux HAP légers, plus volatils. Pour la Phase A, l'ACP suggère que les HAP à 3 et 4 cycles sont légèrement plus présents en zone urbaine. Pour la Phase B, les ellipses de l'ACP sont largement superposées, montrant une absence de distinction nette entre sites urbains et industriels.

Globalement, avec les outils utilisés, aucun profil type lié à la typologie des sites n'émerge. Les exploitations des résultats sont limitées par le nombre de données, mais constituent une base exploratoire utile pour Atmo Normandie. Ils pourront servir de point de départ pour l'application de méthodes comme la Positive Matrix Factorization (PMF) afin d'identifier les sources spécifiques de HAP, sous réserve d'un élargissement du jeu de données.

Les lichens sont un outil intéressant pour le programme CASPAIR : ils permettent un suivi sur plusieurs années de l'impact d'un incident industriel, ils sont déjà présents sur site lors de l'événement (contrairement aux jauges de dépôt) et ils offrent une solution plus simple d'un point de vue logistique.

3.5. Comparaison air ambiant vs lichens

En complément des mesures dans les lichens, huit HAP (HAP₈¹⁸ dans les PM10) ont été surveillés sur quatre sites : trois stations permanentes (Le Havre – HRI, Sotteville-lès-Rouen – CHS, Saint-Saëns – SSA) et une station temporaire à Rouvray – Mairie pour 2024. L'étude examine les variations saisonnières et les profils chimiques en HAP selon le support.

Deux campagnes de prélèvement de lichens ont eu lieu : en avril (Phase A – fin d'hiver) et en septembre (Phase B – fin d'été) 2024 (Phase B). Les concentrations de HAP₈ ont été calculées sur les trois mois précédant chaque prélèvement, reflétant de façon indicative l'exposition des lichens et tenant compte de la disponibilité des données air ambiant pour Rouvray – Mairie depuis janvier 2024. La localisation des points de prélèvement est présentée en Annexe 1.

Les Figures 17 et 18 présentent les résultats relatifs aux HAP₈ mesurés dans les lichens et dans l'air ambiant, en comparant les Phases A et B. Pour l'air ambiant, les concentrations ont été cumulées sur une période de trois mois, à partir de 4 à 7 prélèvements selon le site et la phase considérée.

¹⁸ HAP₈ : Benzo(a)anthracène, Benzo(a)pyrène, Benzo(b)fluoranthène, Benzo(g,h,i)pérylène, Benzo(k)fluoranthène, Chrysène, Dibenzo(a,h)anthracène, Indéno(1,2,3-cd)pyrène

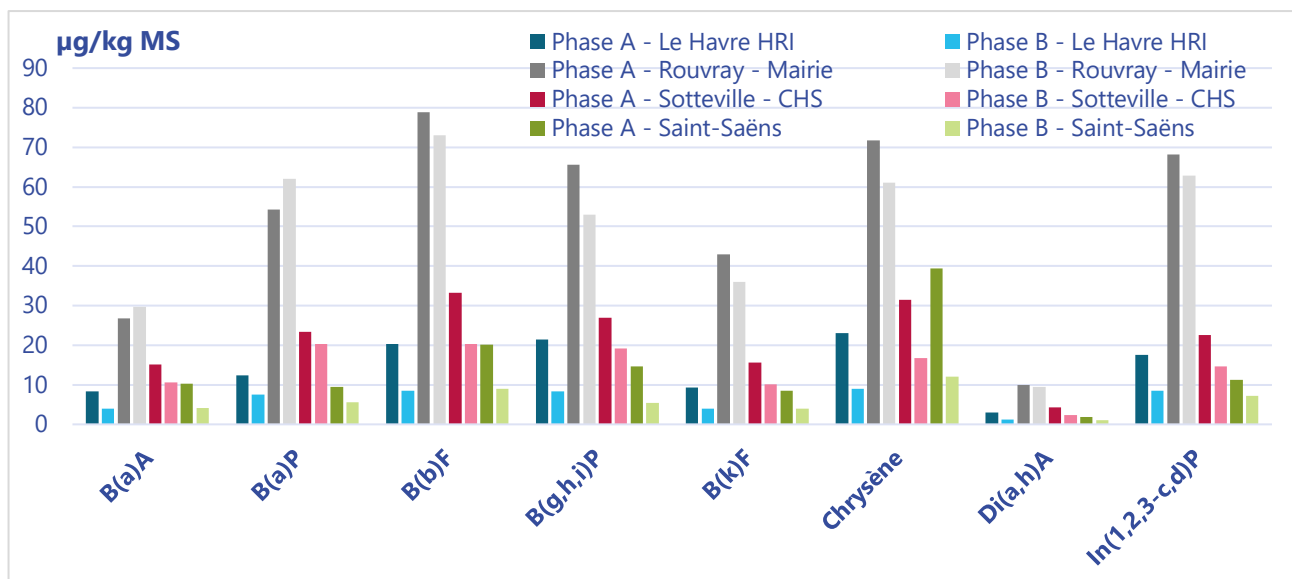


Figure 18 : Teneurs comparées en HAP₈ mesurées dans les lichens – Phases A (3–12 avril 2024) et B (19–30 septembre 2024). B(a)A : Benzo(a)anthracène, B(b)F : Benzo(b)fluoranthène, B(g,h,i)P : Benzo(g,h,i)pérylène, B(k)F : Benzo(k)fluoranthène, Di(a,h)A : Dibenzo(a,h)anthracène, In(1,2,3-c,d) : Indéno((1,2,3-c,d)pyrène

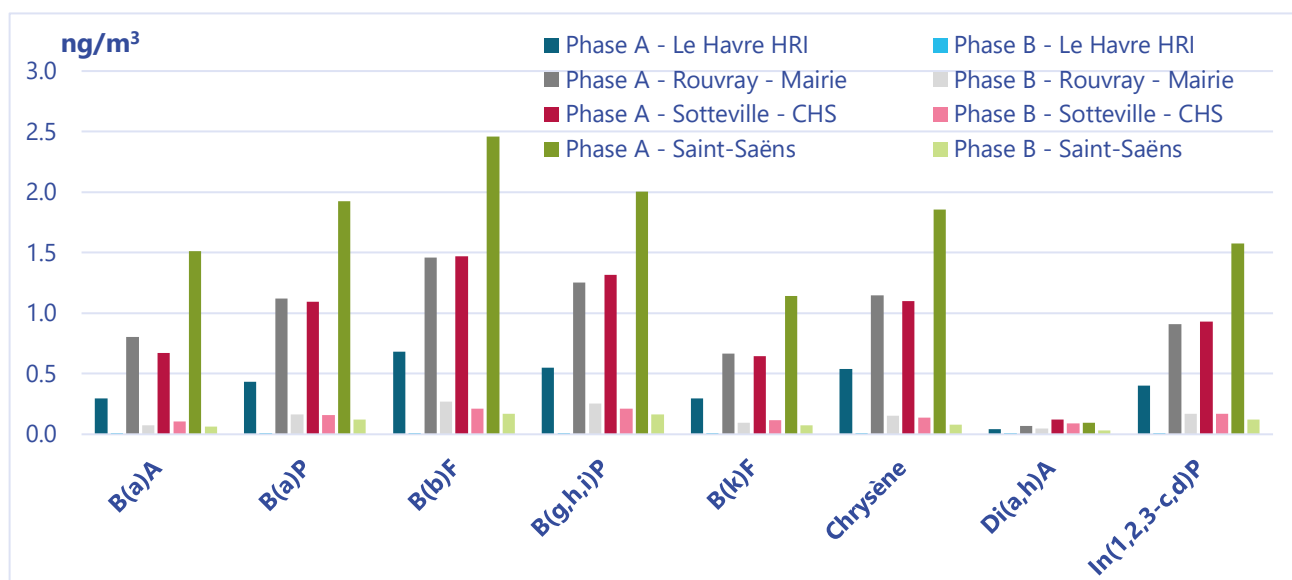


Figure 17 : Concentrations cumulées (3 mois) comparées en HAP₈ mesurées dans l'air ambiant – Phases A (3–12 avril 2024) et B (19–30 septembre 2024). B(a)A : Benzo(a)anthracène, B(b)F : Benzo(b)fluoranthène, B(g,h,i)P : Benzo(g,h,i)pérylène, B(k)F : Benzo(k)fluoranthène, Di(a,h)A : Dibenzo(a,h)anthracène, In(1,2,3-c,d) : Indéno((1,2,3-c,d)pyrène

Les résultats montrent une baisse généralisée des concentrations de HAP₈ entre la Phase A (hiver) et la Phase B (été), tant dans les lichens que dans l'air ambiant. Cette diminution est plus marquée dans l'air, avec des réductions allant jusqu'à 95 % pour certains composés (comme le chrysène à Saint-Saëns), tandis que dans les lichens, les baisses restent plus modérées. Les tendances sont donc similaires, mais les amplitudes varient selon le support. Par exemple, les niveaux les plus élevés de HAP₈ dans les lichens ont été relevés à Saint-Etienne-du-Rouvray – Mairie, alors que dans l'air ambiant, c'est Saint-Saëns qui présente les plus fortes concentrations. Ces écarts soulignent la complémentarité des deux méthodes : les lichens intègrent la pollution sur plusieurs mois, alors que les capteurs mesurent des concentrations ponctuelles dans le temps.

Par ailleurs, des graphiques croisant les concentrations du B(a)P dans l'air ambiant et ses teneurs correspondantes dans les lichens, sur 4 sites, ont été réalisés pour chaque phase (Annexe 2). Ces graphiques ne mettent pas en évidence une corrélation claire avec les concentrations dans l'air ambiant. Ces résultats illustrent, de manière générale, qu'il peut être délicat de comparer directement des sites aux contextes environnementaux différents, même lorsqu'une même méthodologie est appliquée.

Pour terminer, les profils de HAP₈ selon leur nombre de cycles ont été comparés (4, 5 ou 6) entre les deux supports (Figures 19 et 20). Les résultats révèlent une répartition globalement similaire entre lichens et air ambiant, avec des proportions comparables pour chaque groupe de composés sur plusieurs sites. Par exemple, à Saint-Etienne-du-Rouvray – Mairie, les HAP à 4 cycles représentent environ 23–26 %, les HAP à 5 cycles près de 45 %, et les HAP à 6 cycles autour de 30 % dans les deux types de mesures. Quelques écarts sont toutefois notables, comme à Saint-Saëns, en Phase A, où les HAP à 4 cycles sont plus abondants dans les lichens que dans l'air ambiant, ce qui pourrait refléter des effets locaux ou des différences de comportement physico-chimique.

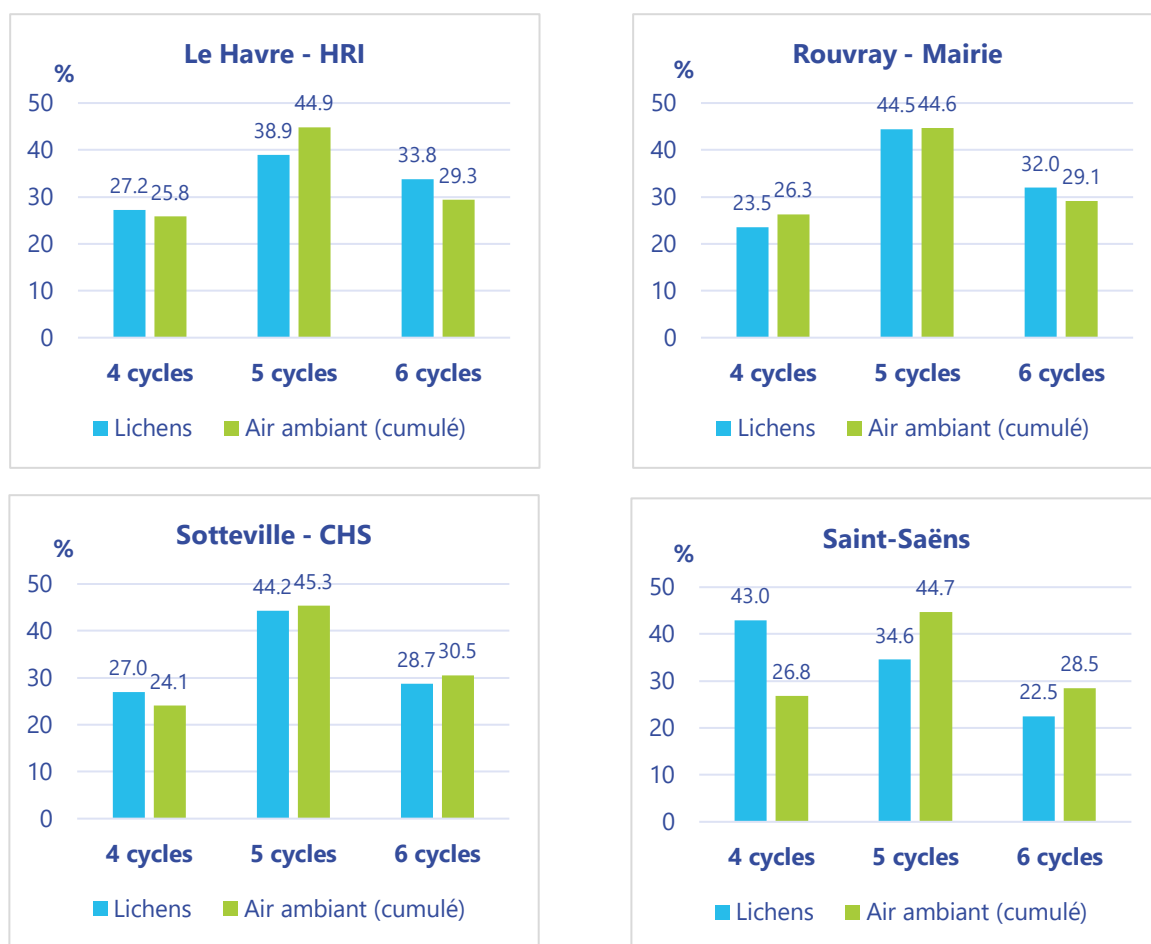


Figure 19 : Comparaison de la répartition des HAP₈ par nombre de cycles aromatiques entre les lichens et l'air ambiant – Phase A



Figure 20 : Comparaison de la répartition des HAP₈ par nombre de cycles aromatiques entre les lichens et l'air ambiant – Phase B

Dans le cadre du programme CASPAIR, cette méthode permet de suivre l'évolution de la pollution à moyen terme, même en l'absence de capteurs en temps réel. Pour Atmo Normandie, elle constitue un outil utile pour étendre la surveillance à l'échelle régionale, en cartographiant les retombées atmosphériques au-delà des épisodes ponctuels.

Finalement, la comparaison entre lichens et capteurs d'air ambiant montre que les deux méthodes détectent des tendances saisonnières similaires en matière de pollution par les HAP. Toutefois, les différences de comportement entre les composés et la variabilité locale appellent à une interprétation prudente. L'approche combinée, croisant mesures biologiques et instrumentales, permet une surveillance plus complète de la pollution atmosphérique.

3.6. Focus sur les 4 sites aux teneurs les plus marquées

Des teneurs marquées en HAP₁₆ ont été observées sur quatre sites dans le cadre de l'étude « 3.2. Effet saisonnier ». Parmi eux, deux sont de typologie industrielle et deux de typologie urbaine. L'objectif de cette section est d'explorer les causes potentielles de ces teneurs.

3.6.1. Sites industriels – Rouen Ouest Petit-Quevilly et Rouen Est Sotteville

Parmi les sites industriels, Rouen Ouest Petit-Quevilly et Rouen Est Sotteville présentent des teneurs marquées en HAP₁₆ :

- **Rouen Ouest Petit-Quevilly** : des niveaux très supérieurs au percentile 95 d'Atmo Normandie (839 µg/kg MS). Phase A : 16 386 µg/kg MS ; Phase B : 12 135 µg/kg MS
- **Rouen Est Sotteville** : seule la valeur de la Phase A dépasse le percentile 95 d'Atmo Normandie. Phase A : 904,6 µg/kg MS ; Phase B : 476,2 µg/kg MS

Les pourcentages des HAP₁₆ selon le nombre de cycles pour les deux sites, durant les deux phases, sont présentés dans le Tableau suivant :

	Rouen Ouest Petit Quevilly		Rouen Est Sotteville	
	<u>Phase A</u>	<u>Phase B</u>	<u>Phase A</u>	<u>Phase B</u>
2 cycles	0,3	0,2	4,4	1,7
3 cycles	5,0	5,8	18,0	12,6
4 cycles	44,2	43,4	41,5	38,1
5 cycles	34,5	36,0	18,7	26,0
6 cycles	16,1	14,6	17,4	21,6

Tableau 6 : Proportions des HAP₁₆ sur les 2 sites industriels (%)

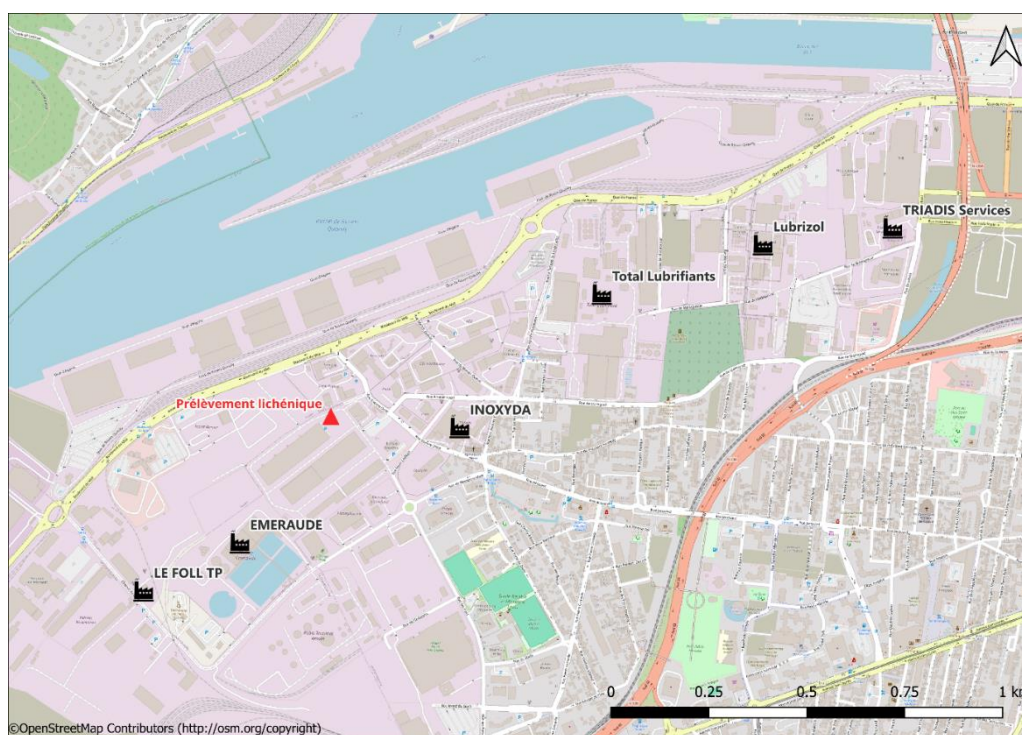


Figure 21 : Carte représentant le contexte local du site Rouen Ouest Petit Quevilly

Le site Rouen Ouest Petit-Quevilly a été intégré en 2024 pour la première fois dans une étude lichénique pour les HAP₁₆. Il n'y a donc pas de données antérieures à utiliser à titre comparatif. Pour comprendre ces taux élevés, il est important de connaître le contexte local (Figure 21). Ce site se situe dans une zone industrielle dense, à proximité de trois incinérateurs (EMERAUDE, VESTA, TRIADIS SERVICES) d'une fonderie d'alliages cuivreux (INOXYDA), d'une entreprise d'enrobage (LE FOLL TP) et d'entreprises de l'industrie chimique (Total Lubrifiants et Lubrizol). Les incinérateurs et la fonderie font l'objet, depuis 2009, d'un suivi environnemental spécifique (dioxines, furanes et métaux), piloté notamment par Atmo Normandie. Le site est également en bordure d'un parc d'activités regroupant plusieurs entreprises de transport et de logistique, susceptibles de générer un trafic de poids lourds important.

Les proportions relatives des HAP₁₆ apparaissent similaires entre les Phases A et B (Tableau 6), ce qui suggère des sources de pollution comparables. Néanmoins, les teneurs globales sont plus faibles en Phase B, possiblement en lien avec un effet saisonnier.

La comparaison de ce profil avec ceux observés sur les autres sites de l'étude (Figures 11 et 12, section 3.4 — Profils types de HAP selon la typologie de site) met en évidence des spécificités notables : à Rouen Ouest Petit-Quevilly, les HAP à 2 cycles sont quasiment absents, tandis que les HAP à 4 et 5 cycles présentent des proportions plus élevées.

La DREAL a été informée de la situation et a engagé une recherche des causes potentielles de ces valeurs marquées. En parallèle, faute de données historiques disponibles sur ce site, un suivi renforcé du site est prévu

pour confirmer ces observations et affiner leur interprétation : de nouveaux prélèvements de lichens seront réalisés en 2025 sur le même point ainsi que sur deux autres points situés à proximité, au sein de la zone industrielle. En fonction des résultats, Atmo Normandie prévoit de reconduire un nouveau suivi en 2026 si des teneurs élevées persistent.

Rouen Est Sotteville

Le site Rouen Est Sotteville a été également intégré pour la première fois dans une étude lichénique pour les HAP₁₆. Pour comprendre ces taux élevés, il est important là encore de connaître le contexte local (Figure 22).

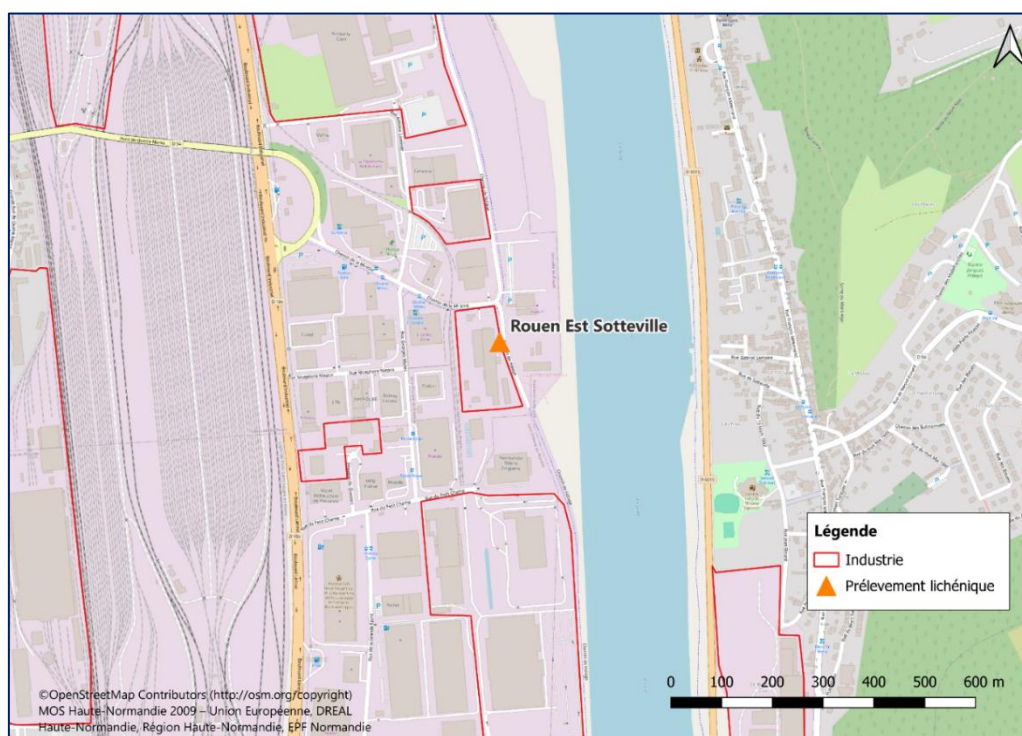


Figure 22 : Carte représentant le contexte local du site Rouen Est Sotteville

Le site est situé en bordure d'un parc d'activités à vocation mixte, accueillant des entreprises issues de secteurs variés tels que l'industrie papetière (Kimberly-Clark SAS), la gestion des déchets (Athalys) ou encore la logistique et le transport (Dialog). Ce type d'environnement est généralement associé à une activité anthropique marquée, pouvant générer un trafic routier important. Il est notamment observé que certaines activités industrielles et logistiques peuvent connaître des phases de ralentissement ou d'arrêt pendant la période estivale, ce qui pourrait influencer la dynamique locale des émissions atmosphériques.

Les résultats mettent en évidence une teneur supérieure au percentile 95 d'Atmo Normandie en HAP₁₆ sur le site étudié pour la Phase A (904,6 µg/kg MS). Toutefois, une diminution est observée en Phase B (476,2 µg/kg MS), ce qui suggère un effet saisonnier. La baisse pourrait être liée à une diminution des émissions durant l'été, mais aussi à des conditions météorologiques plus favorables à la dispersion atmosphérique des HAP. Par ailleurs, une évolution dans la composition des HAP a été constatée entre les deux phases. Une diminution des HAP

légers (à 2, 3 et 4 cycles) au profit des HAP plus lourds (à 5 et 6 cycles) est observée. Cette évolution pourrait refléter un changement dans les sources d'émission.

En l'absence de données historiques sur le site, il est encore prématuré de conclure à une pollution chronique. Les résultats actuels pourraient correspondre à un événement ponctuel. Afin de mieux caractériser l'origine et la récurrence de cette pollution, il serait pertinent de mettre en place un suivi complémentaire sur plusieurs saisons, permettant d'identifier les tendances à moyen terme. Ce suivi permettrait également d'évaluer si les teneurs mesurées s'inscrivent dans une dynamique stable ou si elles répondent à des événements spécifiques, liés par exemple à des variations d'activité ou de conditions météorologiques.

3.6.2. Sites urbains – Saint-Etienne-du-Rouvray Mairie et Voie Ferrée

Parmi les sites urbains étudiés, Saint-Étienne-du-Rouvray – Mairie et Saint-Étienne-du-Rouvray – Voie Ferrée présentent les teneurs les plus élevées en HAP₁₆. Pour le site « Mairie », les concentrations atteignent 1 023,5 µg/kg MS en Phase A et 785,5 µg/kg MS en Phase B. Le site « Voie Ferrée » présente quant à lui des teneurs de 471,1 µg/kg MS en Phase A, et une augmentation marquée en Phase B avec 1 230,3 µg/kg MS.

Ces niveaux dépassent le percentile 95 défini par Atmo Normandie (839 µg/kg MS) pour certaines phases et se situent globalement au-dessus des teneurs moyennes relevées sur l'ensemble des sites suivis. Il convient de noter que la zone est peu colonisée par les lichens, ce qui limite les possibilités de prélèvements et peut influencer sur la représentativité des résultats. Les pourcentages des HAP₁₆ selon le nombre de cycles pour les deux sites, durant les deux phases, sont présentés dans le tableau suivant :

	Saint-Étienne-du-Rouvray – Mairie		Saint-Étienne-du-Rouvray – Voie Ferrée	
	Phase A	Phase B	Phase A	Phase B
2 cycles	4,9	0,8	2,7	1,5
3 cycles	21,0	15,1	19,8	32,0
4 cycles	41,9	46,3	43,8	35,5
5 cycles	19,2	23,0	19,9	18,9
6 cycles	13,1	14,7	13,8	12,1

Tableau 7 : Proportions des HAP₁₆ sur les 2 sites urbains (%)

Le contexte local de ces sites est illustré dans la Figure suivante.

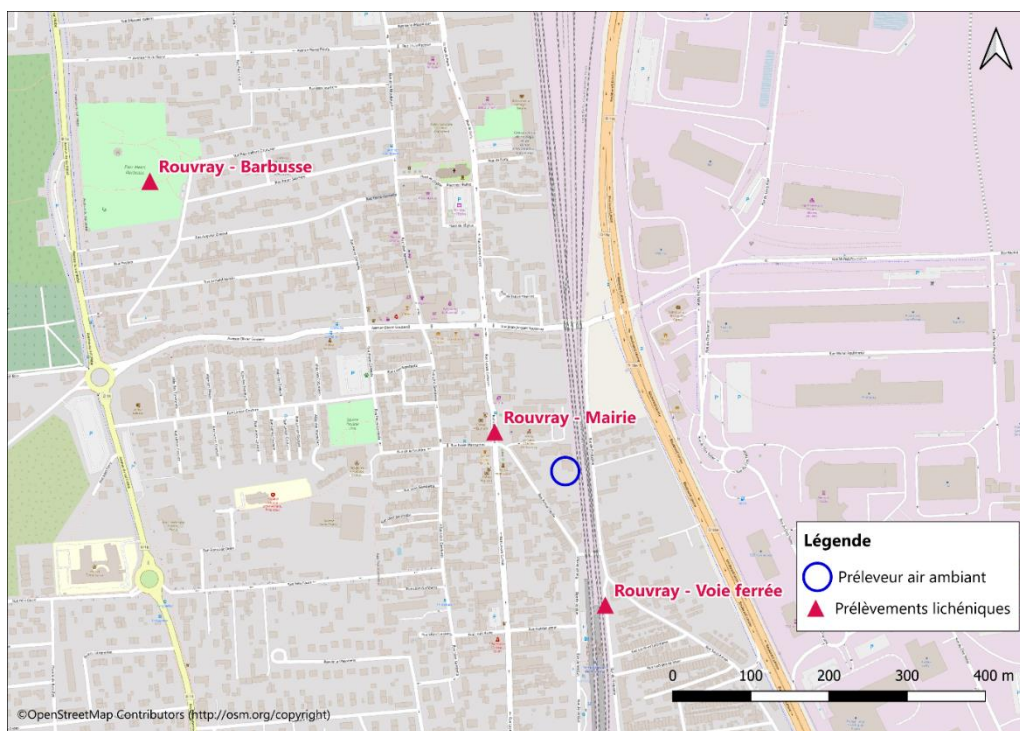


Figure 23 : Carte représentant le contexte local des sites Saint-Etienne-du-Rouvray – Mairie et Voie Ferrée

En 2020, un an après l'incendie de Lubrizol et de Normandie Logistique, des teneurs élevées en HAP₁₆ avaient été mesurées sur le site « Mairie », bien qu'il soit localisé en dehors du panache de pollution modélisé de l'incendie. Entre 2020 et 2024, ces concentrations ont nettement diminué, mais un changement de laboratoire analytique sur la période peut influencer la comparabilité des résultats.

Lors des campagnes récentes, deux sites ont été étudiés : l'un à proximité de la mairie, l'autre le long de la voie ferrée. Sur ces deux points, la présence très limitée de lichens a rendu les prélèvements difficiles et limite la représentativité des mesures. Pour le site « Voie Ferrée », les points de prélèvement différaient entre les deux phases (parking derrière la mairie en Phase A ; rue de Verdun en Phase B), ce qui rend la comparaison directe difficile. Le nouvel emplacement, situé en contrebas de la voie ferrée, pourrait être plus exposé à certaines sources locales (trafic, émissions diesel). Ces différents éléments amènent à considérer les résultats avec prudence.

À proximité (Figure 23), le parc Henri-Barbusse, seul site localement bien colonisé par les lichens, présente des teneurs en HAP₁₆ inférieures au percentile 95 établi par Atmo Normandie. Les mesures d'air ambiant réalisées dans le même secteur indiquent par ailleurs une concentration moyenne annuelle en benzo(a)pyrène d'environ 0,15 ng/m³, soit nettement inférieure à la valeur cible réglementaire de 1 ng/m³.

En synthèse, les résultats obtenus sur le secteur de Saint-Étienne-du-Rouvray doivent être interprétés avec précaution en raison des faibles quantités de lichens disponibles. Les mesures d'air ambiant, plus représentatives du contexte local, indiquent pour leur part des concentrations faibles, largement inférieures à la valeur cible réglementaire.

4. Conclusion et recommandations

Ce rapport met en évidence la pertinence des lichens comme bioindicateurs pour surveiller les retombées atmosphériques, en particulier dans un contexte post-accident industriel tel que l'incendie de Lubrizol et Normandie Logistique (2019). Leur capacité à refléter les variations spatio-temporelles des teneurs en HAP, notamment les HAP₁₆ et le B(a)P, confirme leur valeur ajoutée pour le programme CASPAIR, qui vise à anticiper et à caractériser les impacts environnementaux d'événements ponctuels sur la qualité de l'air.

Les résultats montrent des tendances saisonnières marquées, avec des teneurs globalement plus élevées en hiver, vraisemblablement liées aux émissions de chauffage domestique. La variabilité observée, notamment sur certains sites urbains ou industriels à forte teneur comme Rouen Ouest – Petit-Quevilly, souligne l'importance d'une surveillance fine et localisée. Aucun profil type de pollution en fonction de la typologie des sites n'a pu être établi. La quantité limitée des données appelle à un élargissement du nombre de sites de prélèvement pour affiner les interprétations statistiques et renforcer la robustesse des conclusions.

Au-delà de leur rôle dans le cadre d'incidents, les données issues de cette étude offrent également une base de référence pour Atmo Normandie, facilitant la distinction entre situations normales et épisodes accidentels. L'intégration de ces valeurs repères au dispositif de suivi des retombées atmosphériques permet une meilleure gestion territoriale de la pollution, tout en ouvrant la voie à des approches plus avancées, telles que la factorisation des sources (PMF), pour identifier les origines des polluants.

Pour pérenniser l'utilisation des lichens dans le suivi des HAP, il est recommandé de renouveler les mesures sur des sites existants et d'étendre les prélèvements à de nouvelles zones, notamment hors des secteurs autour du Havre et de Rouen. Une attention particulière doit être portée aux sites où une pollution marquée a été détectée, à savoir Rouen Ouest – Petit Quevilly, Rouen Est – Sotteville et Saint-Étienne-du-Rouvray (Mairie et Voie Ferrée). Pour Rouen Ouest – Petit Quevilly, de nouveaux prélèvements de lichens sont prévus dès 2025 sur le site initial et deux points proches dans la zone industrielle, avec un suivi éventuel en 2026 si les teneurs restent élevées. Pour Saint-Étienne-du-Rouvray, où la densité de lichens est très faible, un suivi basé sur les mesures d'air ambiant à partir de jauges semble plus adapté pour évaluer la situation. Des campagnes à différentes périodes de l'année restent également essentielles pour tenir compte de la saisonnalité et affiner l'interprétation des résultats.

Finalement, l'usage des lichens, combiné à des mesures de retombées atmosphériques par jauge de dépôt, constitue un outil complémentaire pour améliorer la compréhension des dynamiques de pollution et renforcer la capacité d'action des autorités en matière de santé environnementale, tant en situation de crise qu'en surveillance de fond.

5. Annexes

5.1. Annexe 1

Cette annexe présente les cartes localisant les points de prélèvement des lichens et des préleveurs d'air ambiant, dans le cadre de l'étude comparative des deux méthodes. Les résultats correspondants sont détaillés dans la partie « 3.5. Comparaison air ambiant vs lichens ».

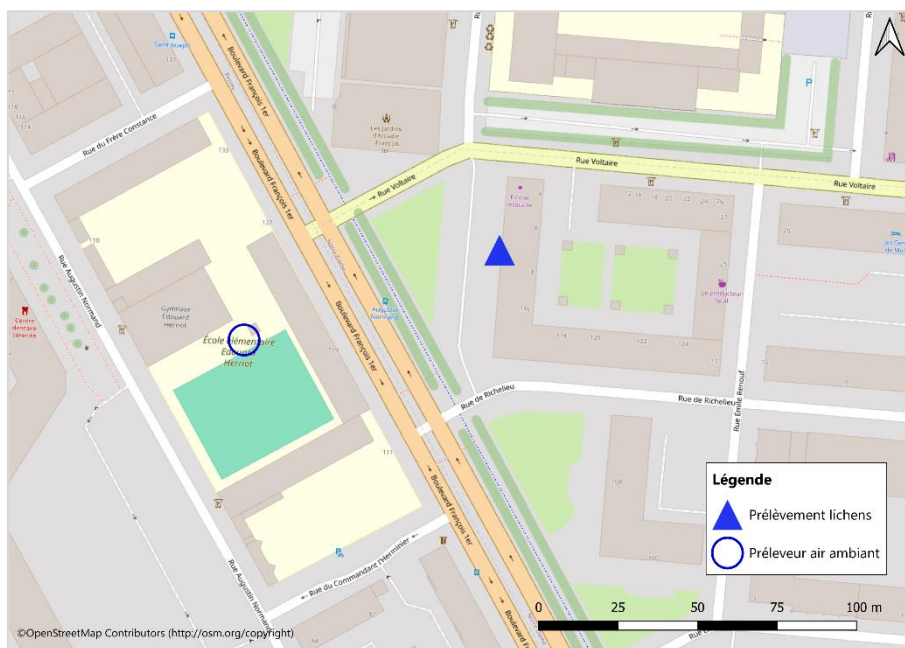


Figure 24 : Localisation du point de prélèvement des lichens et du préleveur d'air ambiant - Site Le Havre centre (HRI)

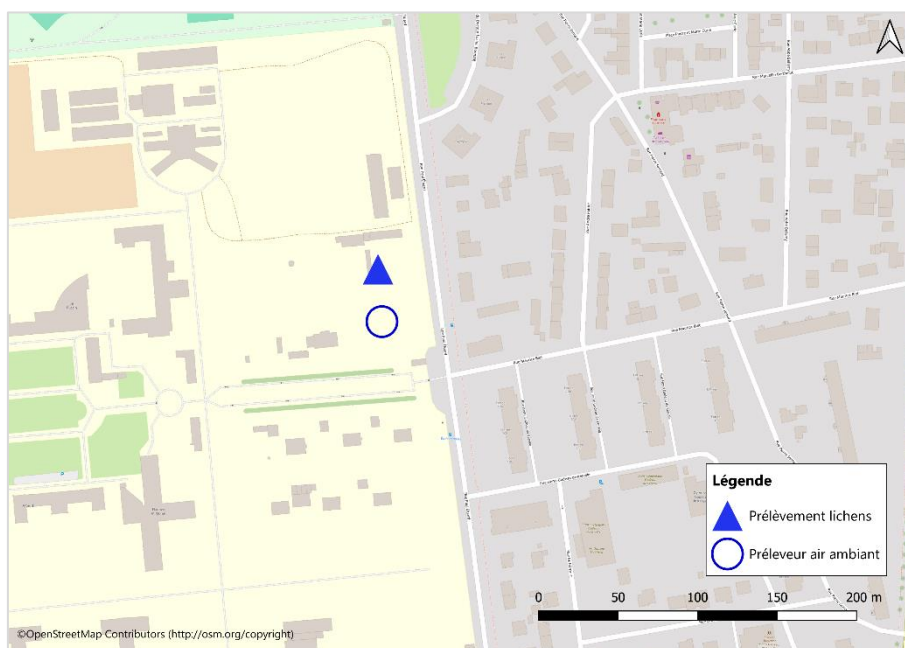


Figure 25 : Localisation du point de prélèvement des lichens et du préleveur d'air ambiant - Site Sotteville-lès-Rouen (CHS)

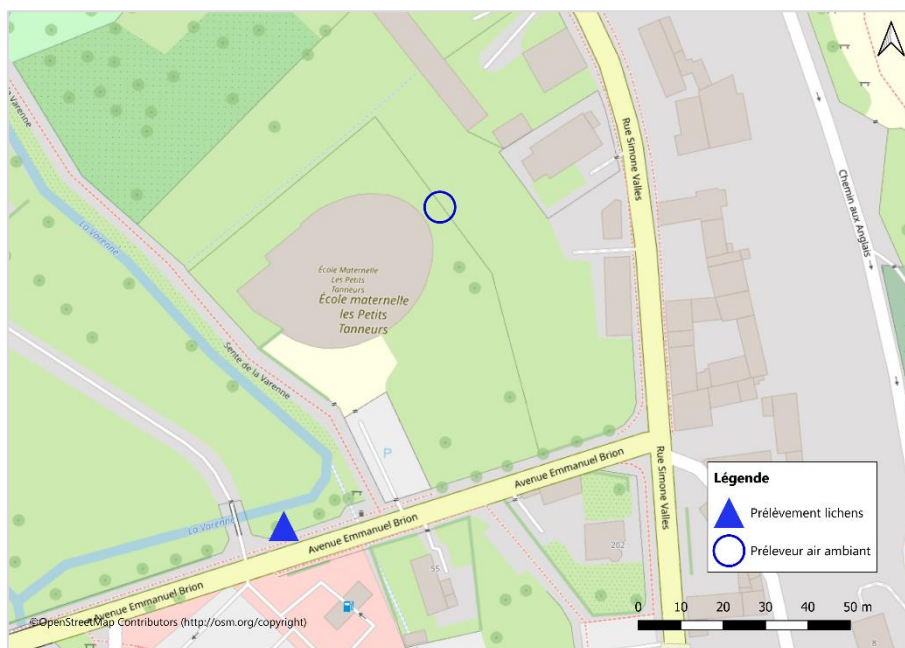


Figure 26 : Localisation du point de prélèvement des lichens et du préleveur d'air ambiant - Saint-Saëns (SSA)

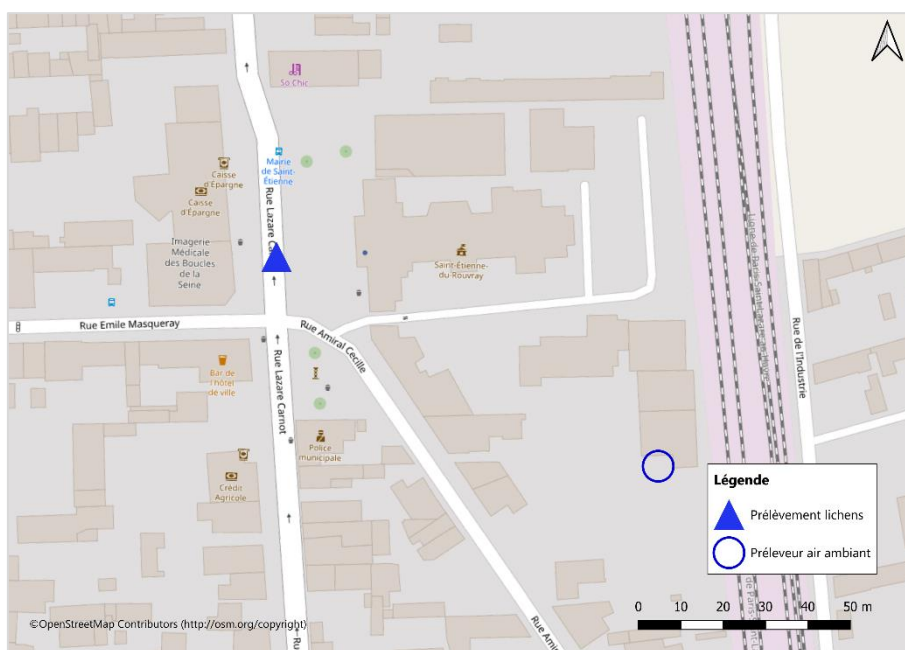


Figure 27 : Localisation du point de prélèvement des lichens et du préleveur d'air ambiant – Rouvray - Mairie

5.2. Annexe 2

Cette annexe présente les graphiques comparant les concentrations en B(a)P dans l'air ambiant et dans les lichens, pour les 4 sites de l'étude. Les résultats correspondants sont détaillés dans la partie « 3.5. Comparaison air ambiant vs lichens ».

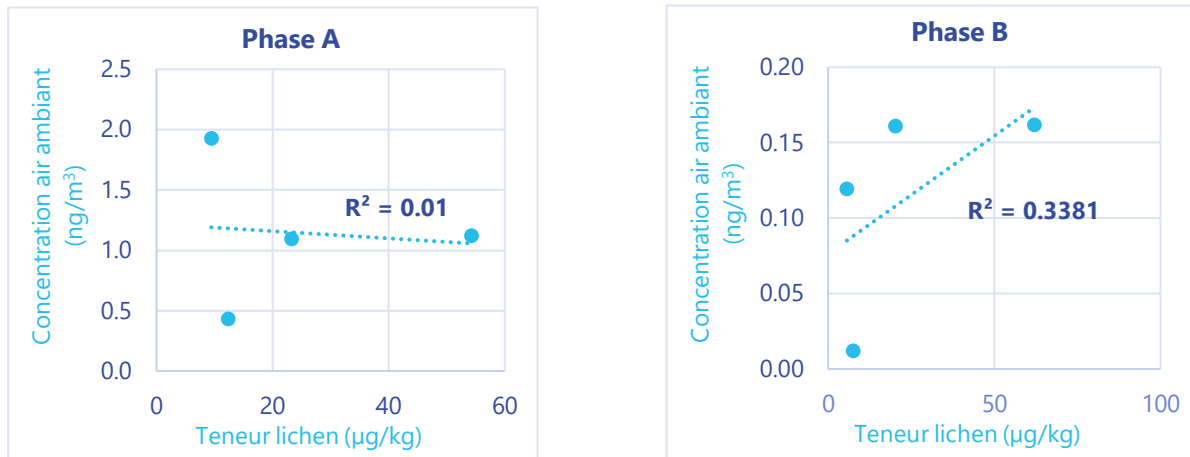


Figure 28 : Corrélation entre les concentrations en B(a)P mesurées dans l'air ambiant et les teneurs cumulées sur 3 mois dans les lichens – sur 4 sites

5.3. Annexe 3

Cette annexe présente les données obtenues lors de l'étude des 26 sites normands pour les campagnes hivernale et estivale.

HAP Lichens - 2024	Nom du site	En µg/kg MS pour les HAP ₁₆
Campagne hivernale (03/04/24 au 12/04/24)		
Suivi incendie Lubrizol – Normandie Logistique	Déville Les Rouen	562.1
	Bosc Bordel	489.7
	Claville Motteville	400.0
	Petit Couronne	493.1
Sites urbains en Normandie	Rouen Préfecture	510.3
	Rouvray - Barbusse	337.1
	Rouvray – Voie Ferrée	471.1
	Evreux	228.5
	Cherbourg	460.7
	Alençon	147.2
	Caen Chemin Vert	286.1
Zones industrielles et leurs alentours	ZI Gaillon	302.7
	ZI Le Havre Ouest	308.2
	ZI Le Havre Est Alizés	590.4
	ZI Lillebonne	375.5
	ZI Port Jérôme	213.4
	Rouen Ouest Petit Quevilly	16 386
	Rouen Est Sotteville	904.6
	Saint Pierre Les Elbeuf	382.6
	ZI St Lô	254.6
Mesures des HAP dans l'air ambiant en parallèle	Rouvray - Mairie	1 023.5
	Saint Saëns	444.5
	Le Havre HRI	252.0
	Station CHS Sotteville	514.1
Sites témoins	Témoin La Coulonche	154.7
	Témoin trafic Bord	582.2

HAP Lichens - 2024	Nom du site	En µg/kg MS pour les HAP ₁₆
Campagne estivale (19/09/24 au 30/09/24)		
Suivi incendie Lubrizol – Normandie Logistique	Déville Les Rouen	456.1
	Bosc Bordel	316.2
	Claville Motteville	337.6
	Petit Couronne	199.0
Sites urbains en Normandie	Rouen Préfecture	333.3
	Rouvray - Barbusse	115.8
	Rouvray – Voie Ferrée	1 230.3
	Evreux	211.0
	Cherbourg	359.1
	Alençon	93.3
	Caen Chemin Vert	151.0
Zones industrielles et leurs alentours	ZI Gaillon	310.0
	ZI Le Havre Ouest	263.4
	ZI Le Havre Est Alizés	204.2
	ZI Lillebonne	371.2
	ZI Port Jérôme	136.9
	Rouen Ouest Petit Quevilly	12 135
	Rouen Est Sotteville	476.2
	Saint Pierre Les Elbeuf	330.1
	ZI St Lô	105.4
Mesures des HAP dans l'air ambiant en parallèle	Rouvray - Mairie	785.5
	Saint Saëns	194.6
	Le Havre HRI	93.6
	Station CHS Sotteville	284.8
Sites témoins	Témoin La Coulonche	102.0
	Témoin trafic Bord	382.9



RETROUVEZ TOUTES
NOS **PUBLICATIONS** SUR :
www.atmonormandie.fr

Atmo Normandie

3 Place de la Pomme d'Or, 76000 ROUEN

Tél. : +33 2.35.07.94.30

Fax : +33 2.35.07.94.40

contact@atmonormandie.fr

