

Observatoire régional des retombées atmosphériques 2009-2023

Métaux, dioxines/furanes et PCB

Référence : rapport n°1770-D

Mise à jour 2025

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), etc. 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, etc.) 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 faite 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°1770-D

Mise à jour du 18/12/2025,

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

Depuis 2009, Atmo Normandie met en œuvre un dispositif régional de surveillance des retombées atmosphériques, en lien avec l'État, les collectivités, les organismes émetteurs et les associations. Ce dispositif vise à suivre les retombées de métaux, de dioxines/furanes et de PCB, en complément de la surveillance réglementaire de l'air ambiant. Les mesures sont réalisées autour des incinérateurs, des fonderies et des zones industrielles, y compris dans les secteurs habités et agricoles.

Ce suivi, recommandé par l'INERIS, est structuré autour d'une méthodologie harmonisée permettant la qualité, l'homogénéité et la comparabilité des données. Pour chaque secteur géographique, une seule méthode d'évaluation des retombées atmosphériques est utilisée (jauges de dépôt ou lichens), sauf pour les zones industrielles du Havre et de Rouen, pour lesquelles une alternance des méthodes est appliquée. La méthodologie privilégie une analyse à l'échelle de la zone géographique plutôt qu'à chaque émetteur pris individuellement.

Depuis 2022, cette surveillance s'inscrit dans le cadre du Programme Régional des Retombées Atmosphériques, avec un pilotage collégial et des bilans annuels. En l'absence de valeurs réglementaires, des indicateurs statistiques régionaux (médiane et percentile 95) servent de valeurs repères régionales pour situer les résultats et suivre leur évolution. La révision de ces valeurs, tous les deux ans, constitue une méthode pour suivre l'évolution des retombées atmosphériques et analyser les tendances à moyen et long terme. Notamment, une diminution des valeurs repères régionales (la médiane) a été observée pour le nickel et le plomb (dans les jauges de dépôt), possiblement en lien avec une baisse des émissions. Une augmentation a également été notée pour le chrome dans les lichens, liée à l'ajout d'un site impacté par une activité industrielle émettrice.

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| 1. Introduction..... | 7 |
| 2. Méthodes et limites..... | 9 |
| 2.1. Choix des polluants d'intérêt | 9 |
| 2.2. Zones de prélèvements | 12 |
| 2.3. Méthodes de surveillance mises en œuvre | 13 |
| 2.3.1. Jauges de dépôt..... | 13 |
| 2.3.2. Lichens | 15 |
| 2.3.3. Limites | 16 |
| 3. Résultats et leur interprétation | 18 |
| 3.1. Expression et interprétation des résultats | 18 |
| 3.2. Valeurs de référence..... | 19 |
| 3.2.1. Dans les jauges de dépôt | 19 |
| 3.2.2. Dans les lichens..... | 23 |
| 4. Conclusion | 25 |
| Annexe 1 : Acteurs de la surveillance des retombées atmosphériques et composition du Comité | |
| Spécifique | 26 |
| Annexe 2 : Mise à jour biannuelle des valeurs repères régionales (dans les jauges) | 28 |
| Annexe 3 : Mise à jour biannuelle des valeurs repères régionales (dans les lichens) | 30 |
| Annexe 4 : Limites de quantification dans les jauges | 32 |
| Annexe 5 : Limites de quantification dans les lichens..... | 34 |



Symboles, unités et abréviations

| Elément chimique | Symbole |
|------------------|---------|
| Antimoine | Sb |
| Arsenic | As |
| Cadmium | Cd |
| Chrome | Cr |
| Cobalt | Co |
| Cuivre | Cu |
| Etain | Sn |
| Fer | Fe |
| Lithium | Li |
| Manganèse | Mn |
| Nickel | Ni |
| Plomb | Pb |
| Vanadium | V |
| Zinc | Zn |

Abréviations

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (dans le cadre de ce document, DREAL de Normandie)

ETM : Élément Trace Métallique

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques

LQ : Limite de Quantification

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PCB : PolyChloroBiphényle

PCB DL : PCB Dioxine Like

PCBi : PCB Indicateurs

PCDD : Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins (dioxines)

PCDF : Polychlorinated Dibenzofurans (furanes)

ZI : Zone Industrielle

Unités

Unités utilisées pour les retombées atmosphériques dans les jauges :

- $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour} = 10^{-6}\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$: microgramme par mètre carré et par jour
- $\text{pg}/\text{m}^2/\text{jour} = 10^{-12}\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$: picogramme par mètre carré et par jour

Unités utilisées pour les retombées atmosphériques dans les lichens :

- $\text{mg}/\text{kg MS} = 10^{-3}\text{g}/\text{kg MS}$: milligrammes par kilogramme de matière sèche
- $\text{ng}/\text{kg MS} = 10^{-9}\text{g}/\text{kg MS}$: nanogrammes par kilogramme de matière sèche

Expression des résultats de dioxines et furanes en équivalent toxique :

- TEF : Facteur d'équivalence de toxicité (OMS 2005)
- TEQ : Equivalent toxique (OMS 2005)¹

Les dioxines/furanes (PCDD/F) sont une famille regroupant 210 composés chimiques appelés congénères. On s'intéresse ici aux 17 congénères reconnus les plus toxiques².

Les PCB constituent une famille de 209 congénères. Parmi eux, les PCB dioxine-like (PCB DL) regroupent 12 congénères (PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169 et 189) reconnus comme les plus toxiques. Les PCB indicateurs (PCBi) comprennent 6 congénères (PCB 28, 52, 101, 138, 153 et 180) couramment utilisés comme marqueurs représentatifs de la contamination par les PCB, en raison de leur abondance dans l'atmosphère³.

¹ Chacun des 17 congénères de dioxines et furanes est pondéré par un facteur d'équivalence de toxicité (TEF) selon son degré de toxicité. Plusieurs organismes ont proposé des facteurs d'équivalence de toxicité (OTAN, OMS). Une révision des facteurs OMS 1998 a été faite en 2005. Les TEF OMS 2005 sont utilisés dans ce rapport. La somme des 17 congénères de dioxines et furanes est exprimée en équivalent toxique : TEQ - OMS 2005.

² UE – Commission européenne. Règlement (UE) n° 1259/2011 du 2 décembre 2011 modifiant le règlement (CE) n° 1881/2006 (dioxines et PCB dans les denrées alimentaires), JOUE L 320, 3.12.2011. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R1259>

³ J. et al., "Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in fogwater at urban, suburban, and rural sites in Northeast France between 2015 and 2021," Atmosphere, vol. 15, no. 3, p.291, 2024. <https://www.mdpi.com/2073-4433/15/3/291>

1. Introduction

Les retombées atmosphériques générées par les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) comprennent des gaz et des particules qui peuvent rester en suspension dans l'air ou se déposer sur les sols, les végétaux et les eaux superficielles. Ces dépôts peuvent conduire à une exposition directe des populations par inhalation ou à une exposition indirecte via la consommation de produits issus de ces milieux. Surveiller ces polluants, notamment les métaux, les dioxines/furanes (PCDD/F) et les polychlorobiphényles (PCB), permet de mieux comprendre leur dispersion, d'évaluer les impacts environnementaux des installations industrielles et de suivre l'efficacité des mesures de maîtrise des émissions.

Depuis 2000, une surveillance des retombées atmosphériques est menée autour de certaines installations d'incinération. Entre 2000 et 2009, cette surveillance a été réalisée par les exploitants des installations. A partir de 2009, les industriels ont sollicité Atmo Normandie afin de mettre en place une surveillance harmonisée, et répondant aux prescriptions des arrêtés préfectoraux (article R. 512-28 du Code de l'environnement)⁴. Depuis 2022, cette surveillance s'inscrit dans le cadre du Programme Régional des Retombées Atmosphériques, piloté par un Comité Spécifique réunissant l'État, les collectivités, les organismes émetteurs et les associations.

Les mesures sont réalisées selon une méthodologie développée par l'INERIS, disponible dans le guide « Surveillance dans l'air autour des installations classées – retombées des émissions atmosphériques, impacts des activités humaines sur les milieux »⁴. Ce guide propose une démarche pour définir les polluants à suivre, les méthodes et les emplacements de mesure, et l'interprétation des résultats. Cette méthodologie vise à assurer la comparabilité des données collectées, en s'appuyant sur des protocoles standardisés, tels que l'utilisation de jauges de dépôt et de lichens. Le suivi actuellement en place pourrait être étendu à l'avenir aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Le présent rapport présente la méthodologie utilisée, détaille le déroulement des mesures selon les différentes méthodes de surveillance (jauges de dépôt et lichens), avant de présenter les résultats pour la région et leur interprétation, incluant les valeurs de référence. Il cadre les études des retombées atmosphériques et est complémentaire aux synthèses de résultats diffusées régulièrement sur chaque secteur de mesure. Une nouvelle version de ce rapport est disponible tous les deux ans, afin d'intégrer les résultats les plus récents, venant enrichir la base de données régionale d'Atmo Normandie sur les retombées de métaux, de PCDD/F et de PCB.

⁴ INERIS – Guide sur la surveillance dans l'air autour des installations classées - Retombées des émissions atmosphériques, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 201065 - 2172207 - v1.0, décembre 2021.

https://www.ineris.fr/sites/default/files/contribution/Documents/Ineris_Surveillancedansl%27Air_Guide_2021-%237_Web.pdf

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. Méthodes et limites

2.1. Choix des polluants d'intérêt

Les PCDD/F sont des molécules chimiques très stables contenant du chlore. Ils sont très peu volatils et se dispersent dans l'atmosphère principalement sous forme de particules. Ils se forment lors de processus de combustion impliquant des composés chlorés, ainsi que lors de certains procédés industriels. Ils sont notamment émis lors de l'incinération des ordures ménagères et lors de la fabrication de métaux. Très persistants, ils sont bioaccumulables et sont associés à des troubles hormonaux, immunitaires et de la reproduction, ainsi qu'à des cancers⁵.

Par ailleurs, les métaux sont des éléments chimiques, et se trouvent également dans l'air principalement sous forme de particules, à l'exception du mercure, présent à l'état gazeux. Ils proviennent surtout de la combustion du charbon, du pétrole et des ordures ménagères, ainsi que de certains procédés industriels, dont la métallurgie des métaux non ferreux. Parmi cette famille de polluants, quatre sont réglementés dans l'air ambiant en raison de leur toxicité : le plomb, ainsi que l'arsenic, le cadmium et le nickel, ces derniers étant classés cancérogènes. Ces substances s'accumulent dans l'organisme et peuvent endommager le système nerveux, les reins, le foie et les voies respiratoires⁶.

Enfin, les PCB sont des molécules chimiques de synthèse contenant du chlore. Dans l'air, ils sont peu volatils et se trouvent donc majoritairement sous forme de particules. D'origine industrielle, ils ont été produits jusqu'en 1987 pour leurs propriétés chimiques intéressantes et se retrouvent encore dans l'environnement en raison de leur stabilité. Leur toxicité augmente avec le nombre d'atomes de chlore. Ces composés s'accumulent dans les graisses et tout au long de la chaîne alimentaire, pouvant provoquer des effets toxiques variés sur la santé, notamment des perturbations hormonales, immunitaires et des risques cancérogènes⁷.

Le choix de ces polluants d'intérêt et du type de mesure s'appuie sur deux guides de référence de l'INERIS :

- **Guide sur la surveillance dans l'air autour des installations classées - Retombées des émissions atmosphériques**, Verneuil-en-Halatte : INERIS - 201065 - 2172207 - v1.0, décembre 2021⁴
- **Guide de surveillance de l'impact sur l'environnement des émissions atmosphériques des installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et de déchets d'activités de soins à risques infectieux**. INERIS 2014 - Rapport d'étude n° DRC-13-136338-06193C⁸.

⁵ <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/chemical-safety-and-health/health-impacts/chemicals/dioxins>
https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/aura/files/content/migrated/publications_import/files/2010_diox_ml_rapport.pdf

⁶ <https://www.airbreizh.asso.fr/air-interieur/polluants-de-lair-interieur/les-metaux-lourds/>

⁷ <https://www.mdpi.com/2305-6304/10/7/365>
https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/aura/files/content/migrated/publications_import/files/2010_atmora_pcb2008.pdf

⁸ INERIS « Guide de surveillance de l'impact sur l'environnement des émissions atmosphériques des installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et de déchets d'activités de soins à risques infectieux. » - 2014 - Rapport d'étude n° DRC-13-136338-06193C. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/INERIS-DRC-13-136338-06193C_1_finalsigne_cle4cac8a.pdf

Les principales formes d'émission et d'exposition aux polluants d'intérêt suivis dans le cadre de la surveillance des retombées atmosphériques sont présentées en Figure 1⁴ :

- **Dioxines/furanes (PCDD/F)** : il est admis que l'exposition moyenne des populations se fait majoritairement par voie alimentaire (> 95 %), l'inhalation ne représentant qu'une part mineure. Comme cela est illustré sur la partie supérieure de la Figure 1, ces substances se déposent dans l'environnement par dépôts atmosphériques secs et humides et contaminent les milieux accumulateurs (sols, végétaux, animaux), à l'origine de l'exposition par ingestion. En conséquence, seuls les dépôts atmosphériques de PCDD/F sont suivis.
- **Métaux ou éléments traces métalliques** (ETM – hors mercure Hg) : ils sont présents dans les particules en suspension (fraction PM₁₀) et dans les particules sédimentables (Figure 1, partie inférieure). Les populations peuvent être exposées par inhalation des particules atmosphériques et par ingestion via les milieux contaminés par les dépôts. Compte tenu de ces voies d'exposition, les concentrations particulières associées au PM₁₀ dans l'air ambiant ainsi que les dépôts atmosphériques particuliers doivent être quantifiés. La partie « air ambiant » ne sera pas décrite dans ce rapport.
- **Polychlorobiphényles (PCB)** : intégrés à la surveillance depuis 2023, les PCB présentent des voies d'exposition similaires à celles des dioxines/furanes, avec une exposition principalement par ingestion liée à la contamination des milieux accumulateurs. Leur suivi repose donc sur la mesure des dépôts atmosphériques.

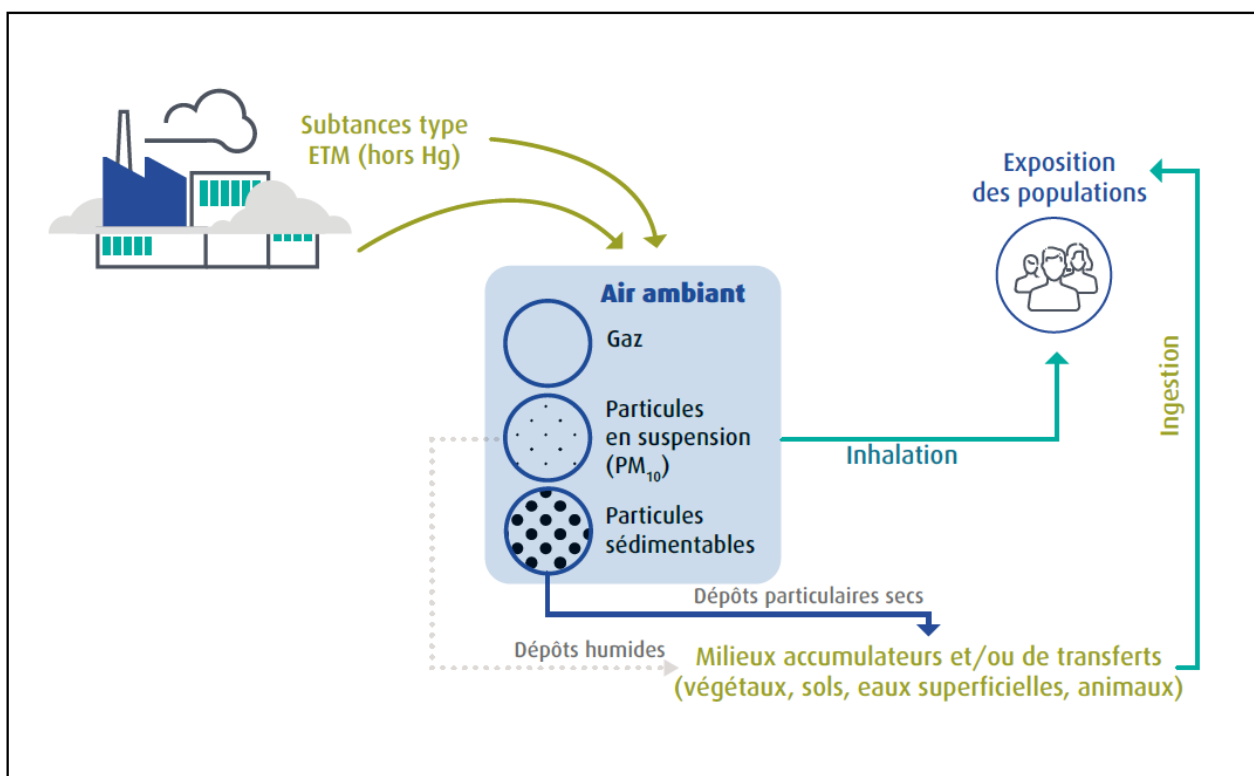
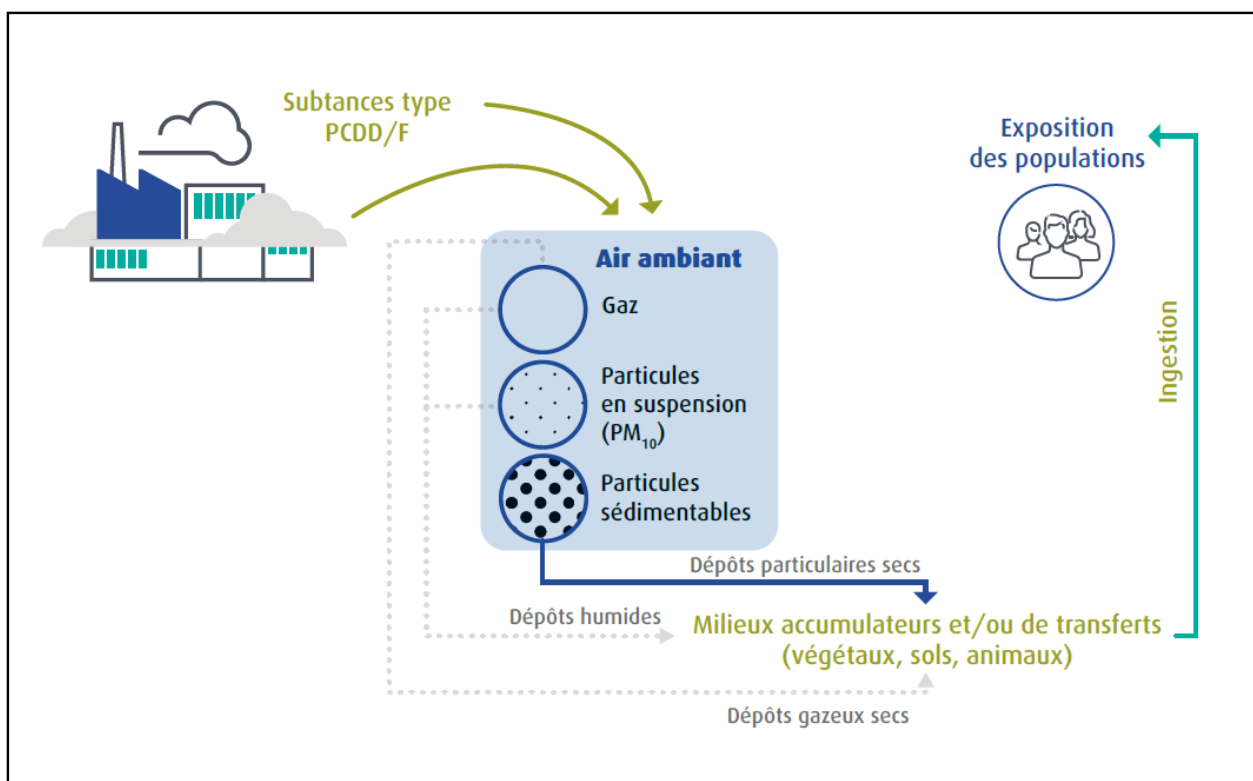


Figure 1 : Principales voies de transfert des polluants atmosphériques (dioxines/furanes et métaux) vers l'exposition des populations locales (hors situations accidentelles) – source : INERIS⁴

2.2. Zones de prélèvements

En 2023, l'Observatoire régional des retombées compte une cinquantaine de points de mesures par jauges et une trentaine de points de prélèvements des lichens, sur différentes zones, présentées dans la Figure suivante.

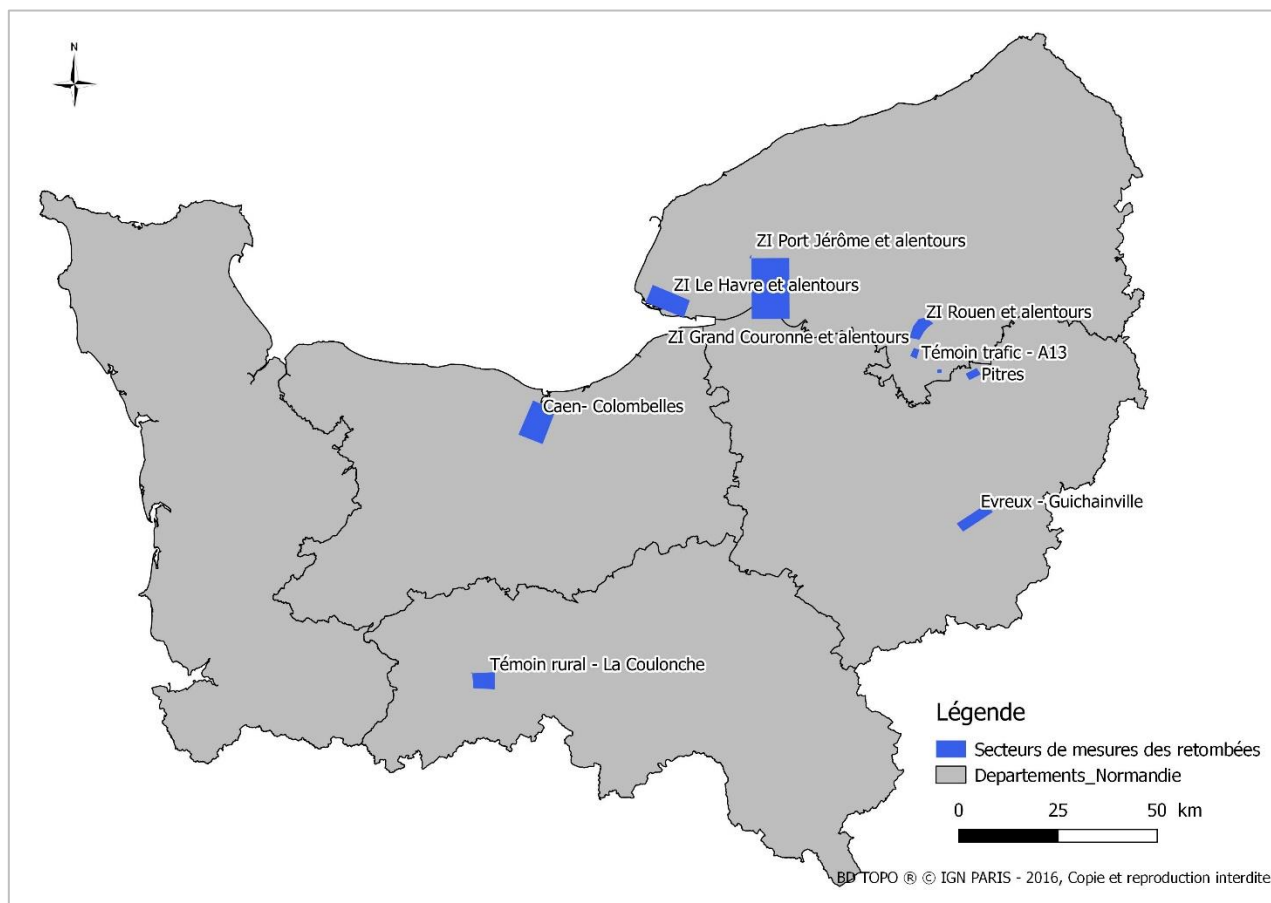


Figure 2 : Secteurs de mesures des retombées en Normandie en 2023

Les différents sites de mesure, sur les zones de prélèvements, sont répartis de la manière suivante :

- **Points de retombées maximales d'un émetteur spécifique** : identifiés grâce à des modélisations ou, à défaut, choisis sous les vents dominants, dans la zone des plus fortes retombées probables au regard de l'influence du vent, en prenant en compte les roses de vent établies sur 3 années. Pour faciliter la lecture, ces points seront appelés « points de retombées maximales ». A noter que cela ne signifie pas pour autant que ces points mesurent exclusivement l'impact du dit émetteur car d'autres sources peuvent être présentes sur le secteur à proximité.
- **Points de suivi en zones industrielles** : pour connaître les teneurs locales dans les milieux industriels.
- **Points urbains ou ruraux d'intérêt** : écoles, stades, hôpitaux, ou secteurs habités ou cultivés, afin d'évaluer l'exposition des riverains.
- **Points témoins** : ne renseignent pas sur la pollution locale mais permettent de situer les teneurs par rapport aux niveaux de fond, incluant des témoins urbains, un témoin du trafic routier (bordure de l'autoroute A13) et un témoin rural dans l'Orne.

Sur ces sites, les retombées atmosphériques sont étudiées à l'aide de jauges de dépôt et de bioindicateurs lichéniques. Les deux sous-sections suivantes présentent ces techniques ainsi que les paramètres qui y sont associés.

2.3. Méthodes de surveillance mises en œuvre

2.3.1. Jauges de dépôt

Normes

La mesure des retombées atmosphériques dans les jauges de dépôt s'appuie sur les normes suivantes :

- NF X43-014 : Qualité de l'air – Air ambiant – Détermination des retombées atmosphériques totales (AFNOR, [2017], disponible sur : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-x43014/qualite-de-lair-air-ambiant-determination-des-retombees-atmospheriques-tota/fa187366/1685>)
- NF EN 15841 : Qualité de l'air ambiant – Méthode normalisée pour la détermination des dépôts d'arsenic, de cadmium, de nickel et de plomb (AFNOR, [2010], disponible sur : <https://norminfo.afnor.org/norme/nf-en-15841/qualite-de-lair-ambiant-methode-normalisee-pour-la-determination-des-depots-darsenic-de-cadmium-de-nickel-et-de-plomb/69780>)

Jauges de dépôt utilisées

Les jauges de dépôt (Figure 3) permettent de collecter les dépôts atmosphériques sous forme liquide (précipitations) et solide (sédimentation des particules). Ceux-ci sont collectés à l'aide de :

- **Une jauge OWEN pour les dioxines/furanes et les PCB** : il s'agit d'un récipient en verre d'une capacité d'échantillonnage de 20 litres, surmontée d'un entonnoir de 24 cm de diamètre. La jauge est protégée de la lumière par un papier d'aluminium afin d'éviter le développement d'algues.
- **Un collecteur BERGERHOFF pour les métaux** : ce collecteur est un récipient en plastique installé au sommet d'un poteau. Il est équipé d'un dispositif de protection contre les oiseaux. Les collecteurs utilisés sur le terrain ont une capacité d'échantillonnage de 2 litres environ et une ouverture de 9 cm de diamètre.



Figure 3 : Exemple de jauge OWEN et de collecteur BERGERHOFF

Fréquence, durée et localisation des campagnes

Les campagnes de mesure couvrent généralement **deux périodes dans l'année : une en hiver et l'autre en été**. La durée d'exposition des jauges par campagne a été portée à huit semaines, au lieu des quatre recommandées par la norme NF X43-014. Cette décision s'appuie sur des tests de prélèvements en continu

réalisés sur certains sites de l'estuaire et d'autres secteurs de la région entre 2013 et 2015, qui ont montré que deux échantillonnages d'environ deux mois suffisent dans la plupart des cas pour représenter l'ensemble de l'année⁹.

En revanche, une surveillance continue sur l'année peut être recommandée dans le cas particulier de sites de mesures situés à proximité directe d'un émetteur dont les émissions fluctuent fortement dans le temps.

À noter : les jauges de dépôt sont utilisées pour l'ensemble des secteurs de mesure des retombées atmosphériques (voir Section « Zones de prélèvements »). Toutefois, historiquement, les industriels assuraient le suivi des retombées au moyen de lichens dans les zones industrielles « Le Havre et alentours » et « Rouen et alentours ». Une alternance entre les jauges de dépôt et les lichens a donc été mise en place sur ces deux zones.

Blancs terrain

Un blanc terrain correspond à un échantillon transporté sur le site de prélèvement et conservé à proximité des dispositifs de mesure pendant la période d'échantillonnage, sans être exposé à l'air ambiant. Il est ensuite retourné au laboratoire et analysé selon les mêmes procédures que les échantillons. Le blanc est réalisé à chaque période de prélèvement et pour les deux types de jauges. Il permet de vérifier l'absence de contamination lors des étapes de préparation, de transport, de manipulation et d'analyse des échantillons.

Analyse des polluants

Jusqu'en 2019, les analyses étaient réalisées par le laboratoire de Rouen (groupe ALPA Chimies). Après la fermeture de ce laboratoire, elles ont été confiées au laboratoire Micropolluants Technologie – Groupe LHP¹⁰ pour les dioxines/furanes et les PCB, et à l'INERIS¹¹ pour les métaux.

Les méthodes d'analyses utilisées sont les suivantes :

- **PCDD/F** : chromatographie en phase gazeuse à haute résolution couplée à la spectrométrie de masse à haute résolution (norme NF X43-014),
- **PCB** : chromatographie en phase gazeuse à haute résolution couplée à la spectrométrie de masse à haute résolution (norme NF X43-014, méthode EPA 1668C¹²),
- **Métaux** : spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS) (normes NF EN 15841, NF EN 14902, NF EN ISO 17294-2).

Les limites de quantification des laboratoires sont indiquées en Annexe 4.

⁹ <https://www.atmonormandie.fr/sites/normandie/files/medias/documents/2022-03/Rapport-1202-019-retomb%C3%A9es-le%20Havre.pdf>

¹⁰ Laboratoire Micropolluants Technologie – Groupe LHP situé à Saint-Julien-lès-Metz

¹¹ Laboratoire de l'INERIS situé à Verneuil-en-Halatte

¹² EPA : U.S Environmental Protection Agency

2.3.2. Lichens

Normes

La mesure des retombées atmosphériques via les lichens s'appuie sur la norme suivante :

- NF X43-904 : Biosurveillance de l'air – Biosurveillance passive de la qualité de l'air à l'aide des lichens autochtones, de la récolte à la préparation des échantillons (AFNOR, [2013], disponible sur : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-x43904/biosurveillance-de-lair-biosurveillance-passive-de-la-qualite-de-lair-a-lai/fa166222/1304>)

Prélèvement de lichens

Atmo Normandie utilise les lichens (Figure 4) puisqu'ils sont présents naturellement dans l'environnement. **Ils 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 ils sont déjà sur place lors d'un incendie industriel) et dans la possibilité de couvrir un large territoire grâce à un maillage important de points de prélèvement.



Figure 4 : Lichens après un prélèvement

Fréquence et localisation des campagnes

L'échantillonnage est réalisé **une fois par an**, dans la mesure où il est admis qu'une mesure réalisée à partir de bioindicateurs permet d'évaluer la pollution moyenne sur la période annuelle écoulée précédant le prélèvement. L'ensemble des études lichéniques est confié à un bureau d'étude spécialisé. Ainsi, de 2009 à 2023, Atmo Normandie a confié les études lichéniques de son observatoire à la société Air Lichens, notamment en raison de l'existence d'un historique de données déjà disponible autour de plusieurs incinérateurs de la région.

À noter : les lichens sont uniquement utilisés pour les zones industrielles « Le Havre et alentours » et « Rouen et alentours ». Une alternance entre les jauges de dépôt et les lichens existe sur ces zones.

Analyse des polluants

Entre 2009 et 2023, le bureau d'études lichéniques Air Lichens confie les analyses des polluants au laboratoire CARSO. Les méthodes d'analyses utilisées sont les suivantes :

- **PCDD/F** : chromatographie en phase gazeuse haute résolution couplée à spectrométrie de masse,
- **PCB** : chromatographie en phase gazeuse haute résolution couplée à spectrométrie de masse,
- **Métaux** : spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS).

Les limites de quantification du laboratoire sont indiquées en Annexe 5.

2.3.3. Limites

Limites spécifiques aux jauges de dépôt

La mesure des retombées atmosphériques, par jauges de dépôt, repose sur l'installation de récipients de collecte permettant de recueillir les précipitations et les poussières sédimentables. Ce dispositif présente plusieurs limites susceptibles d'entraîner des données invalides. Sur le plan pratique, certaines jauges peuvent être accessibles au public, exposant les échantillons à des risques de pollution, de manipulation ou de renversement. Les conditions météorologiques constituent également une contrainte importante : des épisodes de vent fort ou de tempête peuvent provoquer le basculement, voire la casse des jauges.

Le choix des sites d'implantation ajoute une contrainte supplémentaire : il est soumis à des limites de terrain, d'autorisations et de risques de vandalisme. Il n'est donc pas toujours possible de positionner les jauges aux emplacements théoriquement les plus pertinents, par exemple au niveau des zones de retombées maximales présumées d'un émetteur.

D'un point de vue temporel, les jauges sont installées sur une durée déterminée et ne permettent pas de documenter les événements survenus en dehors de cette période. Elles ne sont pas nécessairement en place lors d'un incident industriel ponctuel, ce qui limite la représentativité des résultats à la seule période d'exposition considérée.

Sur le plan analytique, certaines substances, comme le mercure sous forme gazeuse, ne peuvent pas être mesurées avec ce type de dispositif.

Limites spécifiques aux lichens

L'utilisation des lichens comme bioindicateurs présente plusieurs limites. Leur disponibilité constitue l'une des principales contraintes, car ils ne sont pas présents partout. Cette absence peut être liée au manque d'arbres ou à des conditions environnementales défavorables à leur développement, notamment dans les zones fortement urbanisées ou industrialisées. Par ailleurs, le prélèvement de lichens doit être réalisé avec précaution afin d'éviter un appauvrissement ou un dépeuplement local des populations, ce qui peut limiter la répétabilité des campagnes sur un même site.

Un autre facteur de limitation est lié à la continuité des séries de données : un changement de bureau d'études et de laboratoire analytique survenu entre 2020 et 2024 peut introduire de légères différences dans les protocoles ou les méthodes analytiques.

Les concentrations mesurées dans les lichens reflètent une pollution intégrée sur une période récente, généralement de 3 à 6 mois, sans qu'une durée précise ne puisse être déterminée. En conséquence, ces données ne peuvent pas être directement utilisées dans le cadre d'une Évaluation des Risques Sanitaires (ERS).

Limites communes aux jauges de dépôt et aux lichens

Il n'existe pas de valeurs repères réglementaires ou sanitaires permettant de comparer directement les résultats des campagnes de suivi des polluants, à l'exception de quelques seuils allemands et suisses, qui ne couvrent cependant pas l'ensemble des polluants étudiés. Des valeurs repères régionales sont alors calculées à partir des données de l'observatoire régional, sous forme de médianes et de percentiles 95, pour chaque polluant.

Le réseau de sites a évolué au fil du temps, avec des ajouts visant à améliorer la couverture spatiale, ce qui peut entraîner des évolutions rapide et importantes des valeurs repères régionales.

Enfin, comme pour tout dispositif de biosurveillance, les prélèvements et analyses en laboratoire comportent une part d'incertitude technique. Les étapes de prélèvement, de transport, de préparation et d'analyse sont soumises à des contraintes techniques spécifiques et encadrées par des procédures qualité strictes.

3. Résultats et leur interprétation

3.1. Expression et interprétation des résultats

Expression des résultats

Les laboratoires d'analyse fournissent dans un premier temps des résultats bruts, correspondant à la quantité de polluants mesurée dans chaque échantillon. Pour les jauges, ces résultats sont transmis à Atmo Normandie en pg/échantillon pour les dioxines/furanes et les PCB, et en µg/échantillon pour les métaux. Pour les lichens, les résultats sont transmis directement modifiés par le bureau d'études, en ng TEQ/kg de matière sèche (MS) pour les dioxines/furanes et PCB DL, en µg/kg MS pour les PCB_i, et en mg/kg MS pour les métaux.

Conformément aux protocoles méthodologiques, Atmo Normandie transforme ensuite les résultats des jauges afin de les exprimer sous forme de flux de dépôts atmosphériques. Ces flux correspondent à la quantité de dépôts secs et/ou humides atteignant le sol par unité de surface et de temps (Tableau 1). Pour les dioxines/furanes et PCB DL, la toxicité est exprimée selon le système d'équivalents toxiques défini par l'Organisation mondiale de la santé (OMS 2005¹³), permettant de prendre en compte la toxicité relative des différents composés. Tous les résultats sont disponibles sur simple demande auprès d'Atmo Normandie : contact@atmonormandie.fr.

| Méthode de mesure | Polluants analysés | Résultats bruts | Résultats - Atmo Normandie | Ce que cela signifie |
|-------------------|--------------------|-----------------|----------------------------|---|
| Jauges | Dioxines/furanes | pg/échantillon | pg TEQ/m²/jour | Quantité déposée chaque jour sur une surface donnée |
| | PCB DL | | | |
| | PCB indicateurs | pg/m²/jour | | |
| | Métaux | µg/échantillon | µg/m²/jour | |
| Lichens | Dioxines/furanes | ng TEQ/kg de MS | | Pollution intégrée dans le temps par les lichens |
| | PCB DL | | | |
| | PCB indicateurs | ng/kg MS | | |
| | Métaux | mg/kg de MS | | |

Tableau 1 : Expression des résultats d'analyse par les laboratoires et par Atmo Normandie

Interprétation des résultats

Le retour d'expérience sur l'ensemble des mesures de l'observatoire régional des retombées montre qu'il peut parfois apparaître des valeurs isolées et présentant des anomalies par rapport aux connaissances. Cependant, lorsqu'une teneur élevée est mesurée plusieurs fois sur un site, il est peu probable

¹³ Van den Berg M. et al., 2006. The 2005 World Health Organization reevaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. Toxicological Sciences, 93(2), 223–241. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2290740/>

qu'il s'agisse d'un biais ou d'une interférence. Dans la mesure du possible, la validité des valeurs élevées est confirmée par :

- Une autre série de mesures,
- Une méthode alternative en parallèle,
- Une origine avérée des polluants.

3.2. Valeurs de référence

3.2.1. Dans les jauges de dépôt

Il n'existe **pas de valeur réglementaire en France pour les retombées mesurées dans les jauges**. Pour situer les teneurs mesurées, celles-ci sont comparées à :

- A des **valeurs repères régionales**, calculées par Atmo Normandie à partir de l'ensemble des mesures réalisées entre 2009 et 2023. La base de données associée s'est enrichie au fil des versions du rapport et des recalculs des valeurs repères. Cette base de données comprend actuellement, pour les jauges, entre 1 010 et 1 034 échantillons pour les métaux selon leur nature, 923 pour les dioxines/furanes, 116 pour les PCB DL et 123 pour les PCBi. Les données permettent d'obtenir **des médianes régionales et des percentiles 95 régionaux**¹⁴.
- A des **valeurs issues de réglementations étrangères** (Allemagne et Suisse) pour certains métaux dans les jauges. Ces références sont anciennes (2002 pour l'Allemagne, 1985 pour la Suisse) et ne tiennent pas compte de l'évolution des émissions de polluants au fil du temps.

Les valeurs sont résumées dans les Tableaux 2 et 3.

¹⁴ La médiane est la valeur qui divise une série de données en deux parties égales : 50 % des résultats sont inférieurs à la médiane et 50 % sont supérieurs. Le percentile 95 correspond à la valeur en dessous de laquelle se situent 95 % des résultats : seulement 5 % des valeurs sont supérieures à ce seuil.

| Valeurs repères - retombées (jauges) | | | Sb | As | Cd | Cr | Co | Cu | Li ¹⁵ | Mn | Ni | Pb | Tl ¹⁶ | V | Zn |
|--------------------------------------|--|--|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| | | | µg/m ² /jour | | | | | | | | | | | | |
| Région | Normandie 2009-2023 Incinérateurs, fonderies, ZI et leurs alentours, témoin rural, témoin trafic | Nombre | 1 029 | 1 034 | 1 013 | 1 010 | 1 025 | 1 034 | 35 | 1 034 | 1 034 | 1 034 | 481 | 1 034 | 1 028 |
| | | Médiane régionale | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 1.1 | 0.2 | 6.1 | | 16.7 | 2.0 | 2.7 | <LQ | 1.3 | 36.9 |
| | | Moyenne régionale | 0.7 | 0.5 | 0.2 | 2.2 | 0.6 | 17.7 | | 25.6 | 6.7 | 6.0 | Arrêt en 2017 | 1.9 | 77.9 |
| | | Percentile 95 régional | 3.1 | 1.5 | 0.5 | 7.4 | 2.2 | 70.4 | | 73.4 | 22.1 | 22.5 | | 5.5 | 301.7 |
| | | Maximum | 21.9 | 8.6 | 11.3 | 52.4 | 9.1 | 568.3 | | 444.9 | 473.1 | 171.9 | | 29.9 | 947.2 |
| Etranger | Allemagne (2002 - TA Luft ¹⁷) | Valeur réglementaire - Moyenne annuelle | | 4 | 2 | | | | | | 15 | 100 | 2 | | |
| | Suisse (1985 - OPAIR ¹⁸) | Valeur réglementaire - Moyenne annuelle | | | 2 | | | | | | | 100 | 2 | | 400 |

Tableau 2 : Valeurs de référence régionales et étrangères, dans les jauges, pour les retombées de métaux (2009-2023)

¹⁵ Le nombre de mesures de lithium en 2023 est insuffisant pour établir des valeurs repères régionales. Celles-ci seront disponibles dans la prochaine mise à jour du rapport.

¹⁶ L'historique des analyses jusqu'en 2017 a montré que les valeurs de thallium étaient systématiquement inférieures à la LQ sur l'ensemble des sites. En conséquence, cet élément n'est plus analysé. Des prospections ponctuelles pourraient être réalisées à l'avenir si nécessaire, afin de vérifier que cette situation demeure.

¹⁷ Le guide technique allemand pour garantir un air pur (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes – Immissionsschutzgesetz. Juillet 2002). https://igsvtu.lanuv.nrw.de/vtu/doc.app?P_VTU_SYSID=002-31&DATEI=6/dokus/61001.pdf

¹⁸ L'Ordonnance Suisse sur la protection de l'air OPAIR - Décembre 1985. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1986/208_208_208/fr

| Valeurs repères - retombées (jauges) | | PCDD/F | PCB DL ¹⁹ | | PCBi | Poussières sédimentables ²⁰ | |
|--------------------------------------|--|--|---|------------|--------|---|-----|
| | | pg/m²/jour TEQ OMS 2005 | | pg/m²/jour | | mg/m²/jour | |
| Région | Normandie 2009-2023 Incinérateurs, fonderies, ZI et leurs alentours, témoin rural, témoin trafic | Nombre | 923 | 116 | | 123 | |
| | | Médiane régionale | 0.9 | 0.5 | 262.1 | 1 423 | |
| | | Moyenne régionale | 1.5 | 0.7 | 992.2 | 3 784 | |
| | | Percentile 95 régional | 4.4 | 1.0 | 2 833 | 14 749 | |
| | | Maximum | 36.9 | 22.0 | 31 622 | 43 073 | |
| Etranger | Allemagne (2002 - TA Luft) | Valeur réglementaire - Moyenne annuelle | 9 (Somme PCDD/F et PCB DL) ²¹ | | | | 350 |
| | Suisse (1985 - Opair ¹⁸) | Valeur réglementaire - Moyenne annuelle | | | | | 200 |

Tableau 3 : Valeurs de référence régionales et étrangères, dans les jauges, pour les retombées de dioxines/furannes et de PCB (2009-2023)

¹⁹ Les concentrations des dioxines/furannes (PCDD/F), PCB DL et PCBi sont additionnées afin de présenter uniquement la somme, pour une lecture plus synthétique des résultats.

²⁰ Pour les poussières sédimentables, les études réalisées par Atmo Normandie sont occasionnelles et les données disponibles sont insuffisantes pour établir des valeurs repères. Néanmoins, pour d'éventuelles études futures ou pour répondre à des questions de partenaires, les valeurs utilisées en Allemagne et en Suisse sont présentées à titre de référence.

²¹ La réglementation allemande (TA Luft – août 2021) établit une valeur réglementaire pour les dépôts atmosphériques concernant la somme des PCDD/F et des PCB DL, en s'appuyant sur les facteurs d'équivalence toxique (TEF) de l'OMS 2005.

https://www.ineris.fr/sites/default/files/contribution/Documents/22_DIOXINES_ET_FURANES_%28PCDD_F%29%20v2.pdf
https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_18082021_IGI25025005.htm

Evolution des valeurs repères (médianes)

Les valeurs repères sont détaillées en Annexe 2 pour les périodes 2009-2017, 2009-2019, 2009-2021 et 2009-2023. Les figures suivantes illustrent l'évolution des médianes dans le temps, les résultats étant exprimés en base 100 (à partir de la période pour laquelle Atmo Normandie disposait d'un nombre assez conséquent de données, à savoir : 2009-2017) afin de faciliter la comparaison des variations d'une période à l'autre, indépendamment des niveaux initiaux dans les jauges.

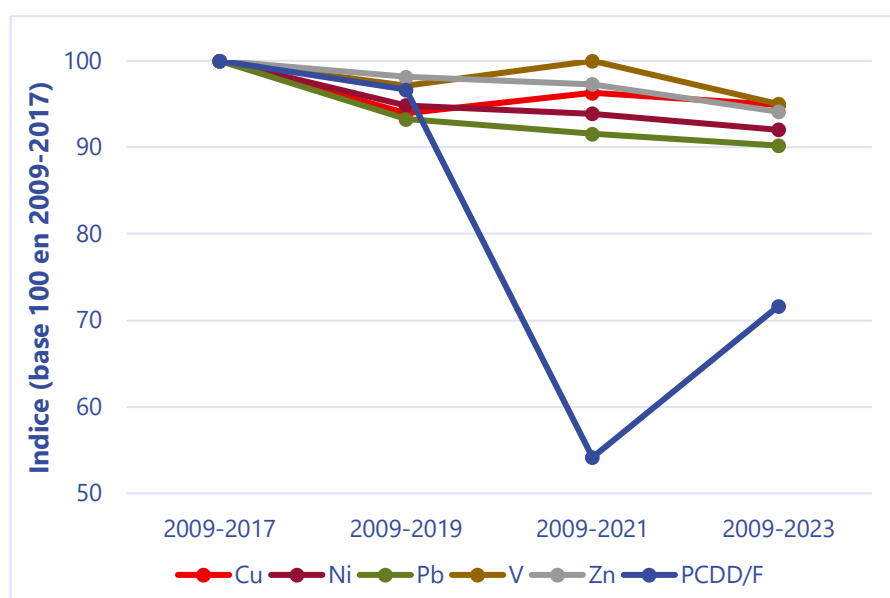


Figure 5 : Evolution des médianes pour Cu, Ni, Pb, V, Zn et PCDD/F - en base 100

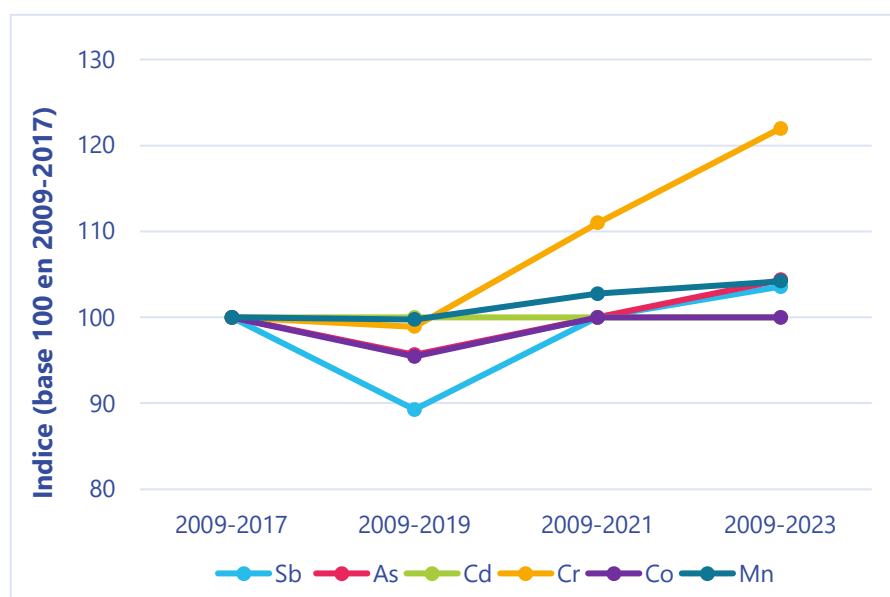


Figure 6 : Evolution des médianes pour Sb, As, Cd, Cr, Co et Mn - en base 100

Les graphiques montrent une légère baisse des niveaux pour certains métaux comme le nickel et le plomb (Figure 5). Une baisse plus marquée est à noter pour les dioxines/furanes, notamment entre les périodes 2009-2017 et 2009-2021, puis une nouvelle augmentation pour 2009-2023. Ces évolutions pourraient traduire une diminution progressive des émissions atmosphériques de ces substances, sans toutefois exclure l'influence

d'autres facteurs (conditions météorologiques, aléas techniques, etc.). À l'inverse, une hausse relative est observée pour le chrome (Figure 6), qui pourrait être liée à l'intégration de nouveaux sites de mesure davantage exposés à cet élément. Pour les autres métaux, les variations observées restent modérées ou irrégulières selon les périodes, ce qui ne permet pas de dégager de tendance nette à ce stade.

3.2.2. Dans les lichens

Il n'existe pas de valeur réglementaire ni sanitaire pour les concentrations mesurées dans les lichens. Pour situer les teneurs mesurées, celles-ci sont comparées à :

- **Des valeurs repères régionales calculées par Atmo Normandie** à partir de toutes les mesures réalisées entre 2009 et 2023. Pour les lichens, la base de données comprend 340 données pour les métaux et 312 pour les PCDD/F. Pour les PCB, il n'y a pas encore suffisamment de données pour calculer des valeurs repères ; elles seront disponibles dans la prochaine version de ce rapport. Les valeurs des **médianes régionales et des percentiles 95 régionaux** sont résumées dans le Tableau 4, page suivante.

Evolution des valeurs repères (médianes)

Les valeurs repères sont détaillées en Annexe 3 pour les périodes 2009-2017, 2009-2019, 2009-2021 et 2009-2023. La figure suivante illustre l'évolution des médianes dans le temps, les résultats étant exprimés en base 100 afin de faciliter la comparaison des variations d'une période à l'autre.

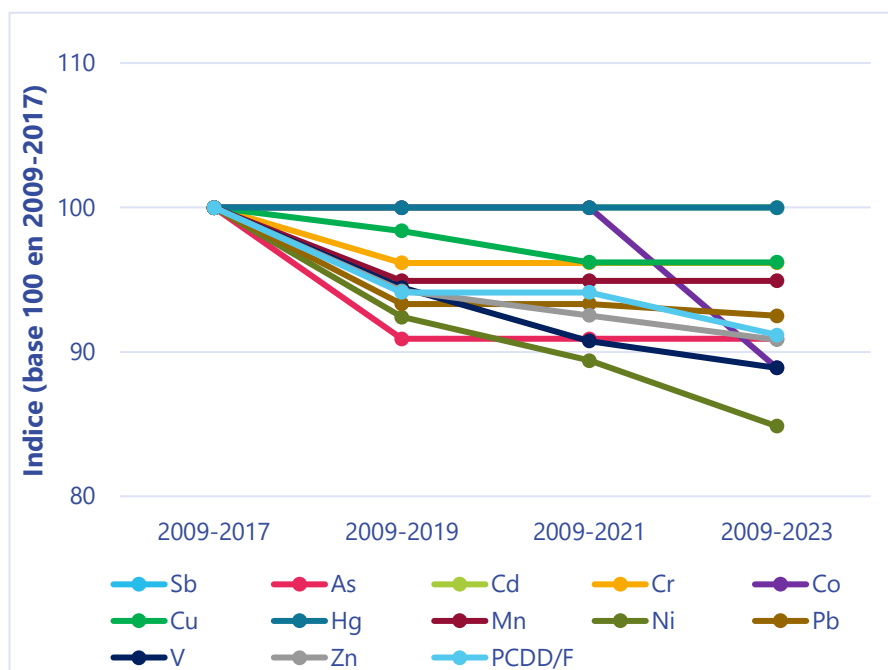


Figure 7 : Evolution des médianes des métaux et des dioxines/furanes - en base 100

Le graphique met en évidence une diminution des médianes pour plusieurs métaux (arsenic, cobalt, nickel, plomb, vanadium et zinc), ainsi que pour les PCDD/F (Figure 7). Le nombre de métaux présentant une tendance à la baisse est plus élevé que celui observé pour les jauges. Comme pour ces dernières, ces évolutions peuvent traduire une réduction progressive des émissions atmosphériques de ces substances, sans toutefois exclure l'influence d'autres facteurs (conditions météorologiques, aléas techniques, etc.).

| Valeurs repères - retombées (lichens) | | Sb | As | Cd | Cr | Co | Cu | Hg | Mn | Ni | Pb | V | Zn | PCDD/F | PCB DL ²² | PCBi |
|--|------------------------|----------|------|-----|------|------|-------|-----|-------|-------|-------|------|-------|-----------------------|-------------------------|-------|
| | | mg/kg MS | | | | | | | | | | | | ng/kg TEQ OMS 2005 | ng/kg | |
| Normandie 2009-2023 Incinérateurs, fonderies, ZI et leurs alentours, témoin rural, témoin trafic | Nombre | 340 | | | | | | | | | | | | 312 | | |
| | Médiane régionale | 1.4 | 1.0 | 0.3 | 5.0 | 0.8 | 17.7 | 0.1 | 56.0 | 5.6 | 11.1 | 4.8 | 107.0 | 3.1 | | |
| | Moyenne régionale | 1.8 | 1.2 | 0.4 | 5.9 | 1.0 | 47.0 | 0.2 | 70.6 | 11.1 | 19.2 | 5.8 | 168.1 | 4.3 | | |
| | Percentile 95 régional | 5.0 | 2.7 | 1.1 | 14.9 | 2.3 | 148.1 | 0.5 | 150.1 | 37.0 | 57.1 | 15.0 | 598.6 | 11.6 | | |
| | Maximum | 8.0 | 10.4 | 5.8 | 26.6 | 11.4 | 1 138 | 1.8 | 438.0 | 157.0 | 189.0 | 29.0 | 1 357 | 41.3 | | |
| Valeur significative AirLichens | | | | | | | | | | | | | | | 1.3 | 2 700 |
| Valeurs « à surveiller » AirLichens | | | | | | | | | | | | | | | 15 | |

Tableau 4 : Valeurs de référence régionales, dans les lichens, pour les retombées de métaux et dioxines/furannes (2009-2023)

²² À ce jour, les données disponibles pour les PCB DL et les PCBi restent insuffisantes. En attendant, les valeurs publiées par le bureau d'études AirLichens sont utilisées comme référence pour comparer nos résultats.

4. Conclusion

Le programme de surveillance des retombées atmosphériques mis en œuvre par Atmo Normandie s'appuie sur un cadre méthodologique harmonisé, développé dans le cadre de l'Observatoire régional des retombées atmosphériques. Cette méthodologie garantit la qualité et la comparabilité des données produites sur l'ensemble du territoire régional.

Dans les zones géographiques comprenant plusieurs installations industrielles émettrices, l'approche retenue privilégie une analyse à l'échelle du secteur géographique plutôt qu'à chaque émetteur pris individuellement. Ce choix méthodologique tient compte de la localisation des émetteurs par rapport aux points de mesure et des conditions météorologiques, notamment des régimes de vent sur les périodes considérées. Cette approche implique de limiter la caractérisation précise de l'impact d'un émetteur, mais elle renforce la représentativité globale des résultats et permet une mutualisation des moyens de surveillance.

Pour chaque période de suivi, et chaque secteur, une seule méthode est choisie (jauges de dépôt ou lichens). Cette cohérence méthodologique permet de comparer les points de mesures entre eux et de les positionner par rapport aux sites témoins (urbains, ruraux, trafic). L'alternance des méthodes selon les périodes, comme sur les secteurs havrais et rouennais, permet de croiser des approches complémentaires et d'enrichir le suivi des retombées atmosphériques.

En l'absence de valeurs réglementaires ou sanitaires spécifiques aux retombées atmosphériques mesurées par jauges de dépôt et par lichens, l'observatoire régional s'appuie sur un traitement statistique des données. Les médianes et percentiles 95 régionaux, calculés pour chaque polluant (PCDD/F, métaux et PCB) à partir de l'ensemble des mesures acquises depuis 2009, remplissent le rôle de valeurs repères régionales. Elles permettent de positionner les nouveaux résultats obtenus, notamment en mettant en évidence les valeurs les plus élevées parmi celles déjà rencontrées en Normandie. La révision régulière des valeurs de référence régionales, tous les deux ans, constitue une méthode pour suivre l'évolution des retombées atmosphériques et analyser les tendances à moyen et long terme. Une diminution de la médiane régionales a été observée pour le nickel et le plomb (dans les jauges de dépôt), possiblement en lien avec une baisse des émissions. Une augmentation a également été notée pour le chrome dans les lichens, liée à l'ajout d'un site impacté par une activité industrielle émettrice.

Finalement, l'Observatoire régional des retombées atmosphériques s'inscrit comme un outil pérenne permettant de quantifier les niveaux de retombées de certains polluants, d'en suivre l'évolution dans le temps et d'accompagner les acteurs du territoire dans l'adaptation des actions de maîtrise des émissions à mettre en place, en cas de nécessité. Tous les rapports liés aux retombées sont disponibles sur le site d'Atmo Normandie. Dans une logique d'amélioration continue, le dispositif a vocation à évoluer, notamment par l'élargissement de la liste des polluants suivis, avec l'intégration à venir des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), via les mesures sur lichens.

Annexe 1 : Acteurs de la surveillance des retombées atmosphériques et composition du Comité Spécifique

Cette annexe présente les acteurs de la surveillance des retombées atmosphériques en Normandie, et les membres du Comité Spécifique du Programme des Retombées Atmosphériques, à date de janvier 2026.

| Type d'adhérent | Nom |
|--------------------------|--|
| Activités d'incinération | EDELWEISS (Le Havre Seine Métropole) |
| | EMERAUDE (Métropole Rouen Normandie) |
| | Ecologic Petroleum Recovery |
| | LUBRIZOL Oudalle |
| | OREADE ECOSTU'AIR |
| | ORIL Industrie |
| | SEDIBEX |
| | SETOM |
| | SMEDAR |
| | SYVEDAC SIRAC |
| | TRIADIS Services |
| | VALOEURE |
| Fonderies | INOXYDA |
| | MANOIR Pitres |
| Autres industriels | CABOT CARBONE |
| | NORTH ATLANTIC RAFFINAGE |
| | NORTH ATLANTIC CHEMICAL |
| | SIBANYE-STILLWATER |
| | TOTAL ENERGIES (Raffinerie et Pétrochimie) |
| | TOURRES |
| | YARA |
| Collectivités | Communauté d'Agglomération Seine Eure |
| | Caen-la-Mer |

Tableau 5 : Acteurs de la surveillance des retombées atmosphériques (Janvier 2026)

| | |
|---|---------------------------|
| Collège 1 (Etat) | DREAL |
| | ARS |
| Collège 2 (Collectivités) | Caux Seine Agglo |
| | Métropole Rouen Normandie |
| Collège 3 (Organismes émetteurs) | SEDIBEX |
| | TRIADIS Services |
| Collège 4 (Associations) | GRAPE Normandie |
| | Rouen Respire |
| Référente salariée | Atmo Normandie |

*Tableau 6 : Composition du Comité Spécifique –
Programme Retombées Atmosphériques (Janvier 2026)*



Annexe 2 : Mise à jour biannuelle des valeurs repères régionales (dans les jauges)

Cette annexe présente la mise à jour biannuelle des valeurs repères régionales établies à partir des données issues des jauges. Elle s'appuie sur les données disponibles pour les dioxines/furanes et les métaux, les PCB étant traités dans une prochaine version du rapport. Ces éléments permettent d'analyser l'évolution des valeurs repères calculées.

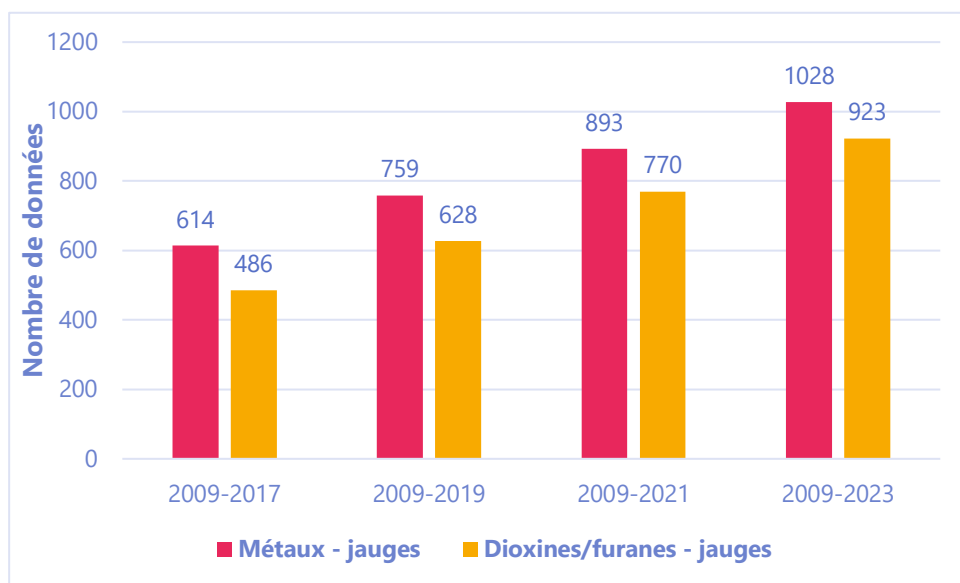


Figure 8 : Nombre de données disponibles, pour les jauges, dans l'historique d'Atmo Normandie

Unités : $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$ (métaux) et $\text{pg}/\text{m}^2/\text{jour}$ TEQ OMS 2005 (dioxines/furanes)

| Médiane régionale | Sb | As | Cd | Cr | Co | Cu | Mn | Ni | Pb | V | Zn | PCDD/F |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| 2009-2017 | 0.28 | 0.23 | 0.08 | 0.91 | 0.22 | 6.44 | 16.0 | 2.13 | 2.96 | 1.40 | 39.2 | 1.20 |
| 2009-2019 | 0.25 | 0.22 | 0.08 | 0.90 | 0.21 | 6.05 | 16.0 | 2.02 | 2.76 | 1.36 | 38.5 | 1.16 |
| 2009-2021 | 0.28 | 0.23 | 0.08 | 1.01 | 0.22 | 6.20 | 16.4 | 2.00 | 2.71 | 1.40 | 38.2 | 0.65 |
| 2009-2023 | 0.29 | 0.24 | 0.08 | 1.11 | 0.22 | 6.11 | 16.7 | 1.96 | 2.67 | 1.33 | 36.9 | 0.86 |

Tableau 7 : Evolution de la médiane régionale pour les métaux et les dioxines/furanes, dans les jauges

Unités : $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$ (métaux) et $\text{pg}/\text{m}^2/\text{jour}$ TEQ OMS 2005 (dioxines/furanes)

| Percentile 95 régional | Sb | As | Cd | Cr | Co | Cu | Mn | Ni | Pb | V | Zn | PCDD/F |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|
| 2009-2017 | 3.16 | 1.42 | 0.39 | 6.74 | 2.46 | 75.6 | 67.6 | 27.7 | 23.3 | 5.65 | 301.1 | 5.50 |
| 2009-2019 | 3.05 | 1.44 | 0.40 | 6.51 | 2.22 | 72.9 | 67.3 | 23.2 | 22.7 | 5.47 | 292.4 | 5.39 |
| 2009-2021 | 3.06 | 1.55 | 0.46 | 7.12 | 2.23 | 73.4 | 70.2 | 23.0 | 22.7 | 5.65 | 292.5 | 4.59 |
| 2009-2023 | 3.06 | 1.53 | 0.48 | 7.44 | 2.19 | 70.4 | 73.4 | 22.1 | 22.5 | 5.50 | 301.7 | 4.36 |

Tableau 8 : Evolution du percentile 95 pour les métaux et les dioxines/furanes, dans les jauges

Annexe 3 : Mise à jour biannuelle des valeurs repères régionales (dans les lichens)

Cette annexe présente la mise à jour biannuelle des valeurs repères régionales établies à partir des données issues des lichens. Elle s'appuie sur les données disponibles pour les dioxines/furanes et les métaux, les PCB étant traités dans une prochaine version du rapport. Ces éléments permettent d'analyser l'évolution des valeurs repères calculées.

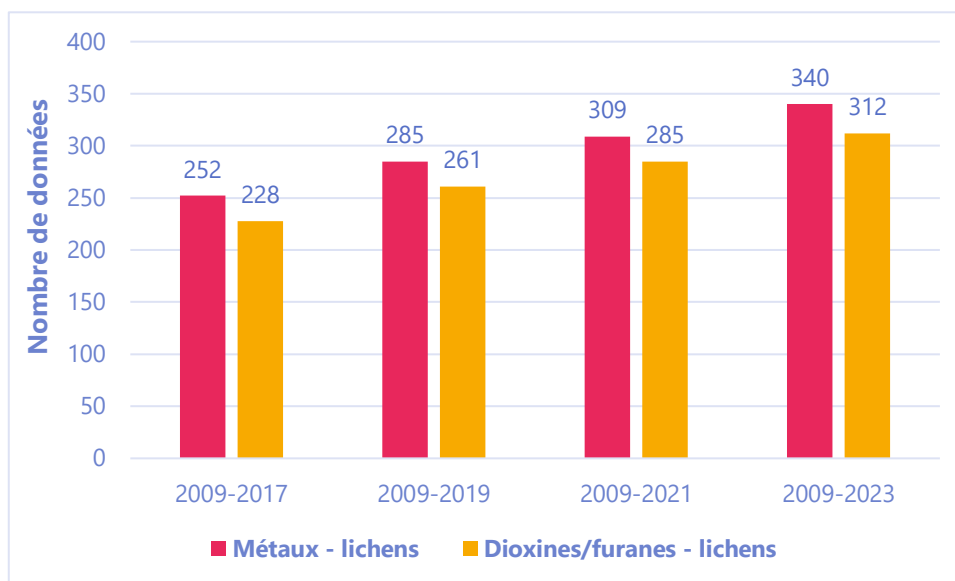


Figure 9 : Nombre de données disponibles, pour les lichens, dans l'historique d'Atmo Normandie

Unités : mg/kg MS (métaux) et ng/kg MS TEQ OMS 2005 (dioxines/furanes)

| Médiane régionale | Sb | As | Cd | Cr | Co | Cu | Hg | Mn | Ni | Pb | V | Zn | PCDD/F |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-------|--------|
| 2009-2017 | 1.4 | 1.1 | 0.3 | 5.2 | 0.9 | 18.4 | 0.1 | 59.0 | 6.6 | 12.0 | 5.4 | 117.8 | 3.4 |
| 2009-2019 | 1.4 | 1.0 | 0.3 | 5.0 | 0.9 | 18.1 | 0.1 | 56.0 | 6.1 | 11.2 | 5.1 | 111.0 | 3.2 |
| 2009-2021 | 1.4 | 1.0 | 0.3 | 5.0 | 0.9 | 17.7 | 0.1 | 56.0 | 5.9 | 11.2 | 4.9 | 109.0 | 3.2 |
| 2009-2023 | 1.4 | 1.0 | 0.3 | 5.0 | 0.8 | 17.7 | 0.1 | 56.0 | 5.6 | 11.1 | 4.8 | 107.0 | 3.1 |

Tableau 9 : Evolution de la médiane régionale pour les métaux et les dioxines/furanes, dans les lichens

Unités : mg/kg MS (métaux) et ng/kg MS TEQ OMS 2005 (dioxines/furanes)

| Percentile 95 régional | Sb | As | Cd | Cr | Co | Cu | Hg | Mn | Ni | Pb | V | Zn | PCDD/F |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|---------------|
| 2009-2017 | 5.0 | 2.8 | 1.1 | 13.3 | 2.3 | 171.1 | 0.5 | 150.5 | 44.6 | 57.5 | 16.0 | 605.1 | 12.2 |
| 2009-2019 | 5.0 | 2.8 | 1.1 | 13.8 | 2.3 | 162.3 | 0.5 | 149.8 | 41.4 | 53.6 | 15.8 | 610.8 | 11.7 |
| 2009-2021 | 5.0 | 2.8 | 1.1 | 15.1 | 2.3 | 157.1 | 0.5 | 150.6 | 40.5 | 57.6 | 15.1 | 607.5 | 11.7 |
| 2009-2023 | 5.0 | 2.7 | 1.1 | 14.9 | 2.3 | 148.1 | 0.5 | 150.1 | 37.0 | 57.1 | 15.0 | 598.6 | 11.6 |

Tableau 10 : Evolution du percentile 95 pour les métaux et les dioxines/furanes, dans les lichens



Annexe 4 : Limites de quantification dans les jauges

La limite de quantification (LQ) correspond à la plus faible concentration d'un composé pouvant être quantifiée de manière fiable par le laboratoire d'analyse. Pour les dioxines/furanes et les PCB DL, les LQ sont exprimées en pg OMS 2005/échantillon. Pour les PCB_i, elles sont exprimées en ng/échantillon, et pour les métaux, en µg/échantillon. Dans les rapports d'Atmo Normandie, les LQ sont ensuite divisées par la surface de collecte de la jauge et par le nombre de jours d'exposition. Par convention, et afin de faciliter la représentation graphique ainsi que les traitements statistiques, les concentrations inférieures à la limite de quantification sont remplacées par une valeur égale à la moitié de cette limite. Les LQ sont fournis à titre indicatif car elles peuvent légèrement varier en fonction des témoins et des blancs lors de l'analyse.

Dioxines/furanes

| Congénère | LQ (pg/échantillon) | Facteur OMS 2005 | LQ pg OMS 2005/échantillon |
|----------------------------|---------------------|------------------|----------------------------|
| 2,3,7,8 TCDD | 0.250 | 1 | 0.250 |
| 1,2,3,7,8 PeCDD | 0.500 | 1 | 0.500 |
| 1,2,3,4,7,8 HxCDD | 0.500 | 0.1 | 0.050 |
| 1,2,3,6,7,8 HxCDD | 0.500 | 0.1 | 0.050 |
| 1,2,3,7,8,9 HxCDD | 0.500 | 0.1 | 0.050 |
| 1,2,3,4,6,7,8 HpCDD | 1.000 | 0.01 | 0.010 |
| OCDD | 1.000 | 0.0003 | 0.0003 |
| 2,3,7,8 TCDF | 0.250 | 0.1 | 0.025 |
| 1,2,3,7,8 PeCDF | 0.500 | 0.03 | 0.015 |
| 2,3,4,7,8 PeCDF | 0.500 | 0.3 | 0.150 |
| 1,2,3,4,7,8 HxCDF | 0.500 | 0.1 | 0.050 |
| 1,2,3,6,7,8 HxCDF | 0.500 | 0.1 | 0.050 |
| 2,3,4,6,7,8 HxCDF | 0.500 | 0.1 | 0.050 |
| 1,2,3,7,8,9 HxCDD | 0.500 | 0.1 | 0.050 |
| 1,2,3,4,6,7,8 HpCDD | 1.000 | 0.01 | 0.010 |
| 1,2,3,4,7,8,9 HpCDD | 1.000 | 0.01 | 0.010 |
| OCDD | 1.000 | 0.0003 | 0.0003 |

Tableau 11 : Limites de quantification (LQ) pour les dioxines/furanes du laboratoire MPT (Groupe LHP)

PCB

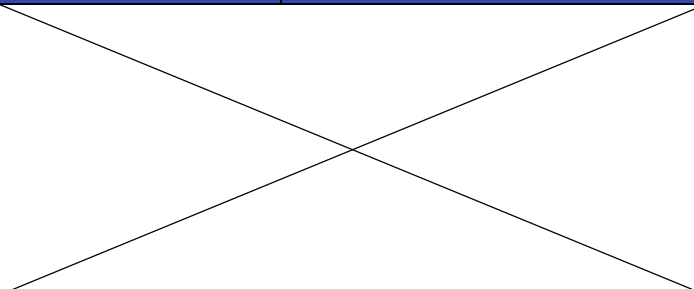
| PCB DL | LQ (pg/échantillon) | Facteur OMS 2005 | LQ pg OMS 2005/échantillon |
|---------|---------------------|---|----------------------------|
| PCB 77 | 20 | 0.0001 | 0.0020 |
| PCB 81 | 20 | 0.0003 | 0.0060 |
| PCB 105 | 20 | 0.00003 | 0.0006 |
| PCB 114 | 20 | 0.00003 | 0.0006 |
| PCB 118 | 20 | 0.00003 | 0.0006 |
| PCB 123 | 20 | 0.00003 | 0.0006 |
| PCB 126 | 20 | 0.1 | 2 |
| PCB 156 | 20 | 0.00003 | 0.0006 |
| PCB 157 | 20 | 0.00003 | 0.0006 |
| PCB 167 | 20 | 0.00003 | 0.0006 |
| PCB 169 | 20 | 0.03 | 0.6 |
| PCB 189 | 20 | 0.00003 | 0.0006 |
| PCBi | LQ (ng/échantillon) | Facteur OMS 2005 | LQ ng OMS 2005/échantillon |
| PCB 28 | 0.02 |  | |
| PCB 52 | 0.02 | | |
| PCB 101 | 0.02 | | |
| PCB 138 | 0.02 | | |
| PCB 153 | 0.02 | | |
| PCB 180 | 0.02 | | |

Tableau 12 : Limites de quantification (LQ) pour les PCB du laboratoire MPT (Groupe LHP)

Métaux

| Métaux | Sb | As | Cd | Cr | Co | Cu | Li | Mn | Ni | Pb | V | Zn |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| LQ (µg/échantillon) | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.025 | 0.05 | 0.005 | 0.025 | 0.005 | 0.013 | 0.025 |

Tableau 13 : Limites de quantification (LQ) pour les métaux du laboratoire INERIS

Annexe 5 : Limites de quantification dans les lichens

La limite de quantification (LQ) correspond à la plus faible concentration d'un composé pouvant être quantifiée de manière fiable par le laboratoire d'analyse. Pour les dioxines/furanes (PCDD/F) et les PCB DL, les LQ sont exprimées en ng/kg MS TEQ OMS 2005. Pour les PCB_i, elles sont exprimées en µg/kg MS, et pour les métaux, en mg/kg MS. Par convention, et afin de faciliter la représentation graphique ainsi que les traitements statistiques, les concentrations inférieures à la limite de quantification sont remplacées par une valeur égale à la moitié de cette limite. Les LQ sont fournis à titre indicatif car elles peuvent légèrement varier en fonction des témoins et des blancs lors de l'analyse.

Dioxines/furanes et PCB

| | Limite de quantification |
|--|--------------------------|
| Somme PCDD/F ng/kg MS TEQ OMS 2005 | 0.1 |
| Somme PCB DL ng/kg MS TEQ OMS 2005 | 0.1 |
| Somme PCB_i µg/kg MS | 0.1 |

Tableau 14 : Limites de quantification (LQ) pour les dioxines/furanes et les PCB, du laboratoire CARSO

Métaux

| Métal | Sb | As | Cd | Cr | Co | Cu | Hg | Mn | Ni | Pb | V | Zn |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| LQ (mg/kg MS) | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.05 | 0.5 | 0.25 | 0.10 | 0.25 | 0.50 |

Tableau 15 : Limites de quantification (LQ) pour les métaux du laboratoire CARSO



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

