

Observatoire régional des retombées atmosphériques 2009-2021

Métaux et dioxines / furanes

Référence : rapport n° 1770-C

Mise à jour 2023

Diffusion : Juin 2023

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 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-C

Mise à jour du 09/05/2023,

La rédactrice,
Anne FRANCOIS DUBOC

La Directrice,
Véronique DELMAS

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 s'emploie à structurer et à maintenir un observatoire régional des retombées atmosphériques, autour des incinérateurs et fonderies de la région, élargi aux zones industrielles et à leurs alentours habités ou cultivés. Le suivi des retombées de métaux et de dioxines / furanes va au-delà de la surveillance des polluants réglementés dans l'air ambiant, mais est conseillée par l'INERIS pour évaluer les impacts des incinérateurs (et par extension des autres émetteurs de métaux et dioxines / furanes) dans leur environnement.

L'objectif de l'observatoire est d'harmoniser les méthodes employées pour la surveillance des retombées atmosphériques, de mutualiser les moyens et de favoriser l'accès des résultats vis-à-vis du public.

Les données de l'observatoire régional des retombées sont destinées aux membres du comité de suivi du Programme régional « Observatoire des retombées atmosphériques »¹, ainsi qu'aux partenaires présents sur chaque secteur de la Région et enfin à toute personne souhaitant s'informer sur les résultats.

Une méthodologie commune à la réalisation de l'ensemble des mesures a été définie. Elle garantit la qualité et l'homogénéité des données de l'observatoire régional des retombées atmosphériques.

Sur les zones multi-émettrices, le fait de surveiller l'ensemble d'une zone et pas seulement chaque émetteur pris individuellement permet de prendre du recul et de mieux interpréter les résultats en tenant compte du positionnement des émetteurs par rapport aux différents points de mesures et en regardant s'ils peuvent ou non être contributeurs aux retombées selon notamment la direction des vents pendant une période donnée.

Pour une période donnée et pour un secteur donné, une seule méthode est choisie (par exemple celle des jauges de dépôt), ce qui permet la comparaison des points de mesures entre eux, avec les témoins (urbains, ruraux, trafic), avec les valeurs repères régionales et enfin avec l'historique pour étudier les évolutions au fil des années. Sur une autre période, la méthode des lichens pourra être appliquée, selon le même principe. C'est le cas par exemple des secteurs havrais et rouennais, où la méthode des jauges alterne une année sur deux avec celle des lichens.

En l'absence de valeurs réglementaires sur les données de retombées atmosphériques, dans les jauges ou dans les lichens, les paramètres statistiques (médiane et percentile 95) calculés de la même manière pour chacun des métaux et pour les dioxines / furanes (TEQ OMS 2005) remplissent le rôle de valeurs repères régionales. En positionnant chacun des résultats obtenus par rapport à ces valeurs, il est ainsi possible de mettre en évidence les résultats qui dépassent les valeurs médianes de la région, d'une part, et les 5% de valeurs les plus élevées déjà rencontrées sur la région, d'autre part.

¹ Parmi lesquels figurent les industriels concernés, des collectivités, les autorités administratives (DREAL, ARS...), des associations de défense de l'environnement...

Sommaire

1. Introduction	6
2. Éléments nécessaires à la compréhension du document.....	6
2.1. Contexte	6
2.2. Choix des polluants d'intérêt et du type de mesure.....	8
2.3. Matériel.....	11
2.4. Méthodes de prélèvements et d'analyses.....	12
2.5. Limites de quantification.....	13
2.6. Blancs terrains	13
3. Durée des campagnes de mesure	13
4. Méthode pour les choix des sites de prélèvements.....	14
5. Résultats et leur interprétation	14
5.1. Expression des résultats	14
5.2. Interprétation des résultats de retombées	15
5.3. Interprétation des résultats dans les jauges.....	15
<i>Valeurs de référence dans les jauges.....</i>	<i>15</i>
<i>Mise à jour biannuelle des valeurs repères régionales (dans les jauges)</i>	<i>17</i>
5.4. Interprétation des résultats dans les lichens.....	20
5.4.1. Valeurs repères proposées par Aair Lichens.....	20
5.4.2. Valeurs typiques régionales dans les lichens	21
6. Conclusion	23
7. Bibliographie.....	24
Annexe 1 : Limites de quantification pour les dioxines furanes dans les jauges	25
Annexe 2 : Limites de quantification pour les métaux dans les jauges.....	26
Annexe 3 : Mise à jour biannuelle des valeurs repères régionales (dans les jauges)	27
Annexe 4 : Mise à jour biannuelle des valeurs repères régionales (dans les lichens)	28

Sigles, symboles et abréviations

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

Symboles chimiques :

Sb : Antimoine

As : Arsenic

Cd : Cadmium

Cr : Chrome

Co : Cobalt

Cu : Cuivre

Fe : Fer

Sn : Etain

Mn : Manganèse

Ni : Nickel

Pb : Plomb

V : Vanadium

Zn : Zinc

PCDD/PCDF : Dioxines et furanes (polychlorodibenzoparadioxines et polychlorodibenzofuranes). Les dioxines / furanes sont une grande famille regroupant 210 composés chimiques appelés congénères. On s'intéresse ici aux 17 congénères reconnus les plus toxiques.

Expression des résultats de dioxines et furanes en équivalent toxique :

TEF : Facteur d'équivalence de toxicité (OMS 2005)

TEQ : Equivalent toxique (OMS 2005)²

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

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

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

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

UIOM : Unité d'Incinération des Ordures Ménagères

ZI : Zone Industrielle

² Chacun des 17 congénères de dioxines et furanes est pondéré par un facteur d'équivalence de toxicité 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.

1. Introduction

Depuis 2009, Atmo Normandie s'emploie à structurer et à maintenir un observatoire régional des retombées atmosphériques, autour des incinérateurs et fonderies de la région, élargi aux zones industrielles et à leurs alentours habités ou cultivés. Le suivi des retombées de métaux et de dioxines / furanes va au-delà de la surveillance des polluants réglementés dans l'air ambiant, mais est conseillée par l'INERIS pour évaluer les impacts des incinérateurs (et par extension des autres émetteurs de métaux et dioxines / furanes) dans leur environnement. [1].

L'objectif de l'observatoire est d'harmoniser les méthodes employées pour la surveillance des retombées atmosphériques, de mutualiser les moyens et de favoriser l'accès des résultats vis-à-vis du public. Ainsi les partenaires et les citoyens peuvent s'appuyer sur ces informations pour s'informer, prendre des décisions et mettre en place des actions proportionnées aux enjeux. L'observatoire permet également d'évaluer dans le temps l'efficacité des mesures mises en place.

Depuis 2022, cette surveillance est devenue un Programme Régional des Retombées Atmosphériques, piloté par un Comité Spécifique s'appuyant sur les 4 collèges d'Atmo Normandie à savoir l'Etat, les Collectivités, les Organismes émetteurs et les Associations, qui se réunit une fois par an pour faire le bilan des actions réalisées et proposer une feuille de route pour l'année suivante. Une des évolutions actuellement envisagées est d'étendre la liste des polluants mesurés aux PCB (dioxine like et indicateurs) et aux HAP (notamment dans les lichens).

Le présent rapport expose la méthodologie, le déroulement des mesures puis les résultats typiques sur la région. Il cadre les études retombées et est complémentaire aux synthèses de résultats diffusées régulièrement sur chaque secteur de mesure

Il s'agit par ailleurs d'une mise à jour du rapport (n° 1770-B) pour notamment prendre en compte les résultats récents obtenus entre 2019 et 2021 qui sont venus enrichir la base de données régionale d'Atmo Normandie sur les retombées de métaux et dioxines / furanes.

Ce rapport est disponible sur le site www.atmonormandie.fr pour tout public intéressé.

2. Eléments nécessaires à la compréhension du document

2.1. Contexte

Une surveillance des retombées atmosphériques des métaux et des dioxines / furanes a été initiée depuis plusieurs années (2000) par les installations d'incinération autour de leurs sites afin de répondre à leurs obligations réglementaires, par différentes méthodes : soit au moyen de jauges de dépôt, soit par bioindication (lichens ou bryophytes terrestres) parfois même par des mesures dans l'air ambiant.

L'intervention d'Atmo Normandie à partir de 2009 a consisté à collecter les données existantes produites par chaque incinérateur et les analyser pour les rendre compréhensibles pour le grand public à la demande des partenaires (collectivités, industriels, DREAL et associations). Ce travail a montré une difficulté d'interprétation du fait de la diversité des méthodes utilisées [4]. De ce fait, avec la volonté d'harmoniser les méthodes de mesure et d'interprétation des résultats, Atmo Normandie a proposé de poursuivre cette surveillance des retombées à partir de l'historique existant, puis de l'élargir au fil du temps aux zones industrielles et à leurs alentours.

Dans ce cadre, un observatoire des dioxines / furanes et des métaux par jauges de dépôt et par bio indication (lichens) a progressivement été mis en place par Atmo Normandie depuis l'année 2009 autour des incinérateurs et sur les zones industrielles de Rouen, Le Havre, Caen, Port Jérôme, Evreux Guichainville, Pitres, ainsi que sur les secteurs habités ou cultivés aux alentours. La volonté de consolider cet observatoire régional, voire de l'étendre à d'autres émetteurs de la région a été réaffirmée en réunion du Comité Spécifique sur les Retombées Atmosphériques de décembre 2021.

En 2021, l'Observatoire régional des retombées compte 54 points de mesures par jauges et 33 points de prélèvements des lichens.

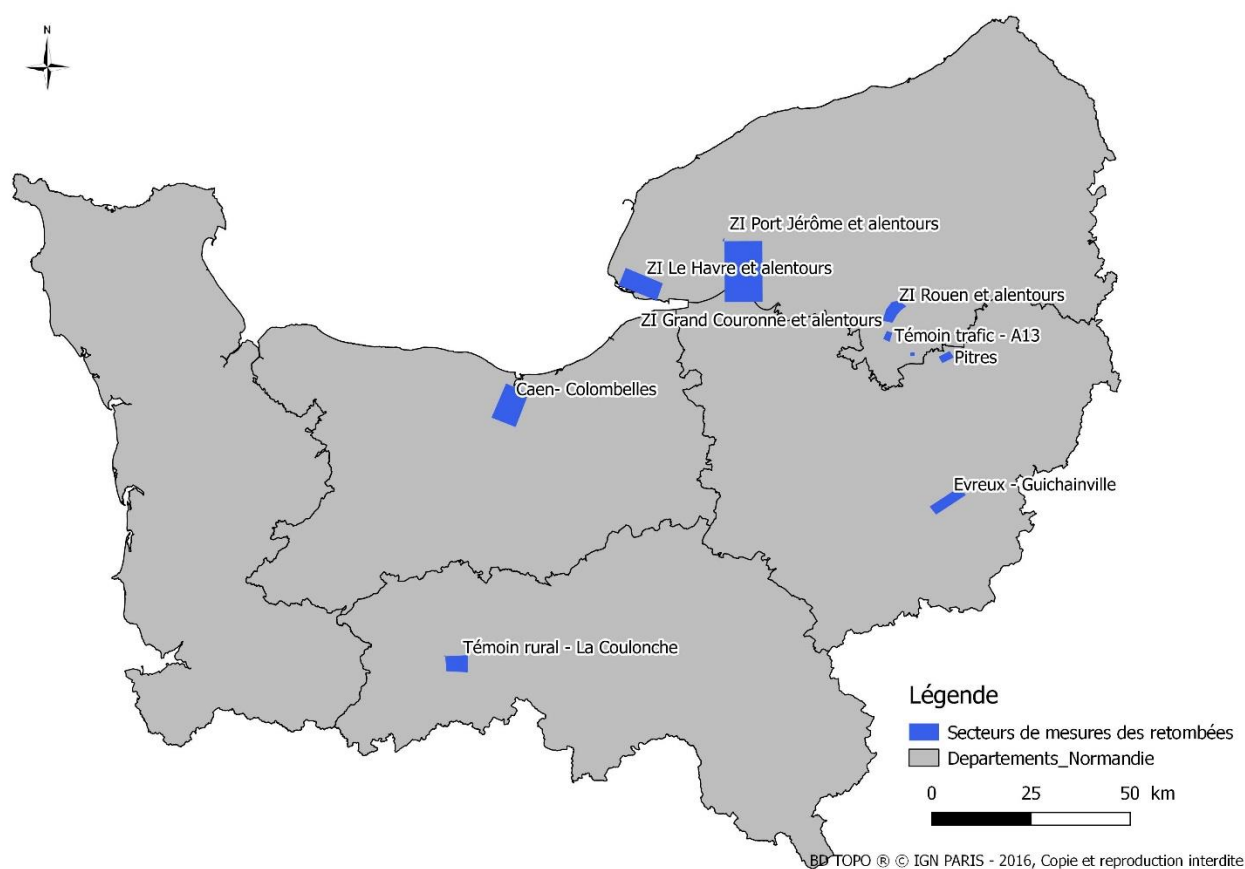


Figure 1 : Secteurs de mesures des retombées en Normandie en 2022

2.2. Choix des polluants d'intérêt et du type de mesure

Le choix des 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 2021 [1],
- "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 [2].

Ainsi, les principaux polluants d'intérêt à suivre dans l'environnement dans les retombées atmosphériques sont (cf. Figure 1) :

- les dioxines / furanes (PCDD/F), auxquelles les populations sont principalement exposées par ingestion du fait qu'elles s'accumulent dans les graisses et remontent la chaîne alimentaire,
- les métaux ou éléments traces métalliques (ETM), pour lesquels l'exposition des populations se fait à la fois par inhalation en raison de leur présence dans les particules en suspension et par ingestion puisqu'ils remontent eux aussi la chaîne alimentaire.

Cette surveillance est donc effectuée dans les retombées atmosphériques (dépôts secs et humides sur le sol) pour les dioxines / furanes et les métaux. Par ailleurs, elle est complétée par celle des métaux dans l'air ambiant (en zone habitée). Cependant, la partie « air ambiant » ne sera pas décrite dans ce rapport.

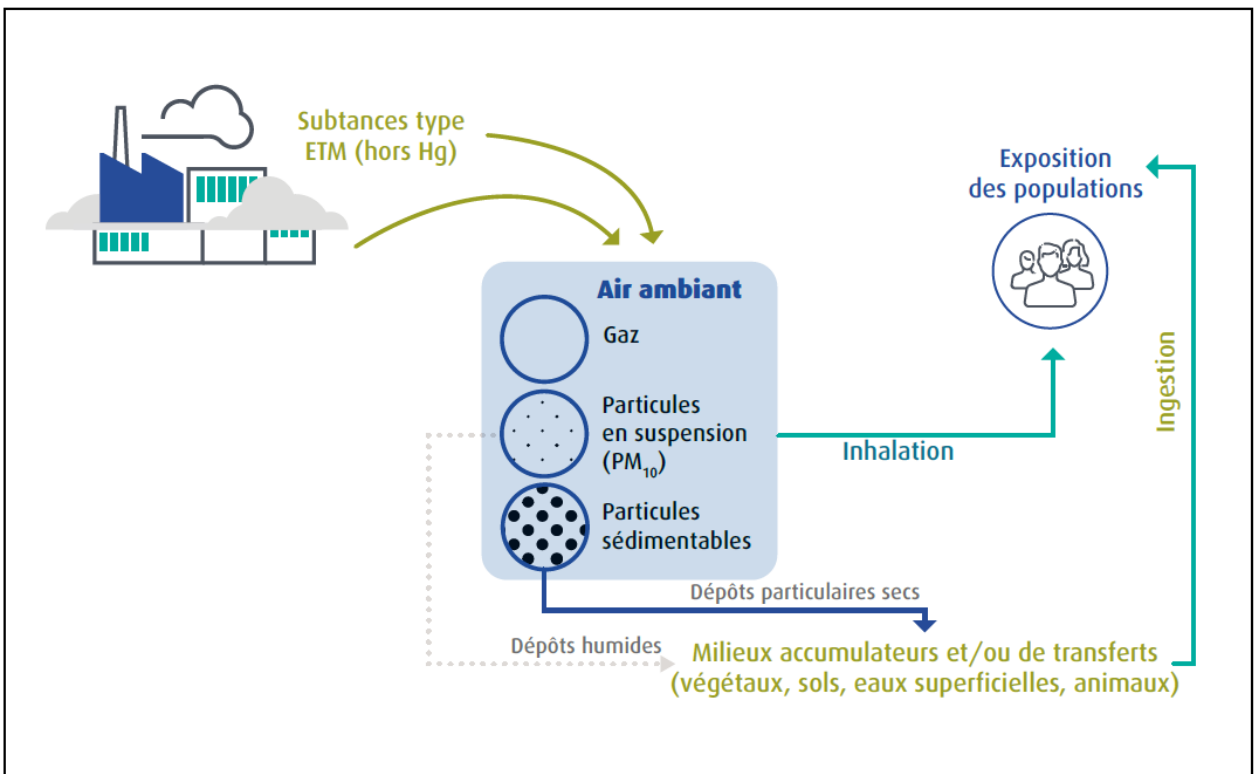
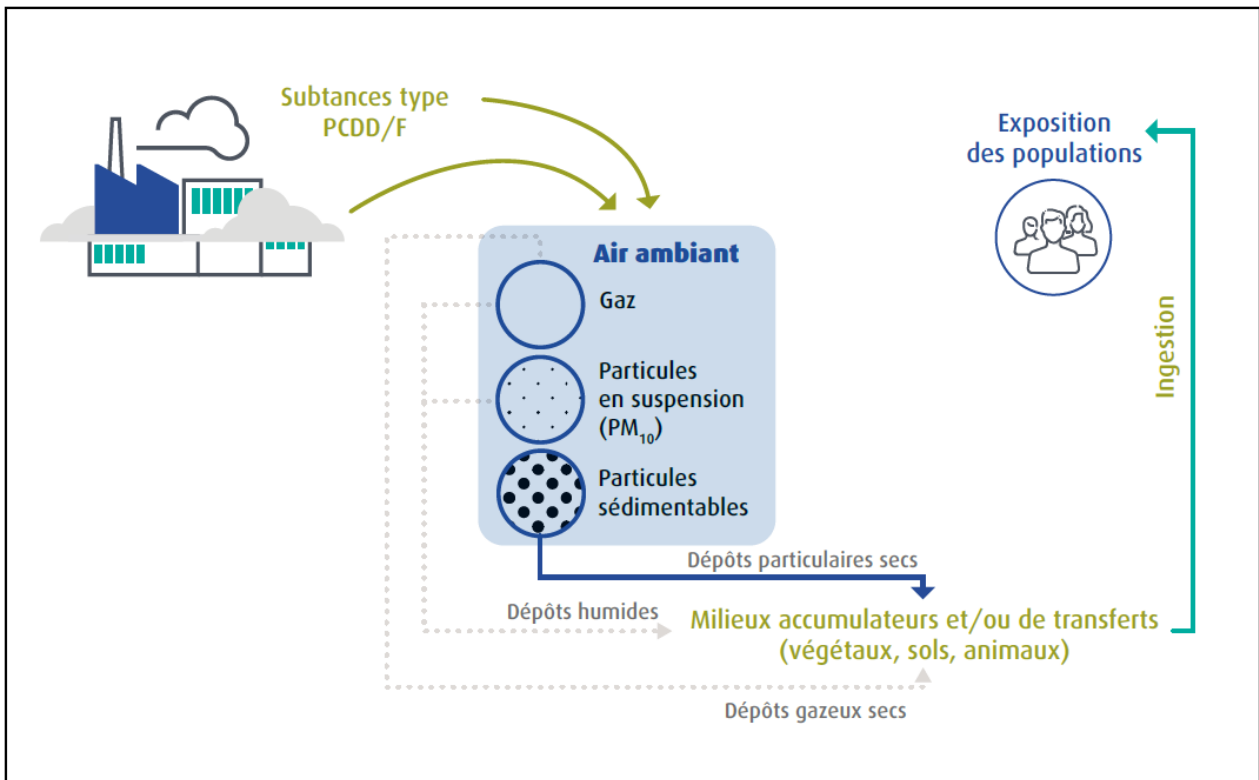


Figure 2 : Principales voies de transfert des polluants atmosphériques de type Dioxines furanes et Métaux vers l'exposition des populations locales (hors situations accidentelles) – source : INERIS [1]

Le suivi des polluants dans les retombées atmosphériques peut s'effectuer de deux façons :

- par une mesure directe des retombées atmosphériques totales dans des jauges de dépôt : les jauges recueillent ce qui se dépose au sol sous forme liquide (précipitations) et solide (sédimentation des particules),
- par une évaluation indirecte des retombées via l'exposition d'organismes vivants d'origine végétale ou fongique. Les lichens sont ainsi utilisés pour la bioaccumulation des contaminants atmosphériques métalliques et organiques. Il s'agit d'une approche passive puisque les organismes sont prélevés in situ. En effet : « Dépourvus de structures physiques protectrices, comme la cuticule des végétaux, les lichens baignent dans leur environnement. L'eau de pluie et l'air pénètrent directement au sein de l'organisme, les poussières sont piégées entre les filaments mycéliens et les composés spécifiques formés par les lichens fixent les polluants. En raison de leur capacité à réagir aux polluants atmosphériques à différents niveaux, de leur faible taux de croissance, de leur longévité et de leur capacité à indiquer la présence de ces polluants, les lichens constituent de véritables « éponges » récupérant les composés présents dans l'atmosphère toute l'année durant et tout au long de leur vie. » (source : Juliette Asta <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/lichens-qualite-de-lenvironnement>).

Ces méthodes peuvent être utilisées en complémentarité. Elles ne représentent pas exactement la même chose en terme d'exposition, notamment par rapport au temps d'accumulation. En effet, les jauges recueillent les dépôts de polluants sur une durée définie, ce qui n'est pas le cas des bioindicateurs.

Les jauges permettent :	Les bioindicateurs permettent :
<ul style="list-style-type: none"> - une flexibilité d'implantation, - une maîtrise de la durée d'échantillonnage, - de s'affranchir d'un marquage initial, - "une photographie" de la situation actuelle, - de fournir des données reconnues, par exemple dans le cas d'une Evaluation des Risques Sanitaires (ERS). 	<ul style="list-style-type: none"> - d'obtenir des résultats représentatifs des conditions moyennes (à la fois sur les retombées et l'air ambiant en ce qui concerne les lichens). Il est admis qu'une mesure dans les bioindicateurs permet d'évaluer la pollution moyenne sur une période d'environ un an précédant le prélèvement, - de faire des prélèvements après un dysfonctionnement, un incident, etc. puisqu'ils sont déjà présents sur le terrain, - l'évaluation de la présence de mercure essentiellement sous forme gazeux (les lichens étant en effet, en équilibre avec l'air ambiant).

Tableau 1 : Comparatif (non exhaustif) des avantages de chaque méthode



2.3. Matériel

- **Pour les jauges de dépôt**, les retombées sont prélevées dans :
 - une jauge OWEN pour les dioxines / furanes. Une jauge Owen est 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. Un collecteur Bergerhoff est un récipient en plastique installé en haut d'un poteau. Il est équipé d'un dispositif de protection contre les oiseaux. Les collecteurs Bergerhoff 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

- **Pour les lichens** :

Le protocole opératoire est décrit dans la norme NF X43-904 de janvier 2013 « Biosurveillance de l'air - Biosurveillance passive de la qualité de l'air à l'aide de lichens autochtones : de la récolte à la préparation des échantillons ».

L'ensemble de l'étude lichénique est confiée à une société spécialiste de l'étude de la qualité de l'air par la lichénologie.

De 2009 à 2022, Atmo Normandie a confié les études lichéniques de son observatoire à la société Aair Lichens (17 rue des Chevrettes 44470 Carquefou), notamment en raison d'un historique déjà disponible autour de plusieurs incinérateurs de la région. La photo ci-dessous montre l'étape de prélèvement des lichens in situ.



Figure 4 - Prélèvement de lichens- Photo Air Lichens

2.4. Méthodes de prélèvements et d'analyses

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

- Retombées atmosphériques totales : Norme NF X 43014 de novembre 2017 ;
- Dépôts de métaux (Arsenic, Cadmium, Nickel, Plomb) : Norme NF-EN15841 de janvier 2010, étendue aux autres métaux.

Jusqu'en 2019, les analyses étaient confiées au laboratoire de Rouen (groupe ALPA Chimies), 49 rue Mustel, BP 4063 76022 Rouen Cedex 3. Suite à la fermeture de ce laboratoire, il a été choisi de passer au laboratoire Micropolluants Technologie – Groupe LHP (à Saint Julien-lès-Metz) pour les dioxines / furanes et à l'INERIS (à Verneuil-en-Halatte) pour les métaux. Les méthodes d'analyses utilisées par les laboratoires sont les suivantes :

- Pour les dioxines / furanes : analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à spectrométrie de masse haute résolution, combinée à méthode de dilution isotopique (Norme NF EN 1948-2,1948-3),
- Pour les métaux : spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS) selon la norme NF EN ISO 17294-2.

Pour les lichens, l'ensemble de l'étude lichénique est confiée à une société spécialiste de l'étude de la qualité de l'air par la lichénologie. Sur la période 2009-2022, les mesures sont réalisées par la société Air Lichens selon la norme NF X43-904 de janvier 2013. Il s'agit d'une approche passive puisque les organismes sont prélevés in situ. Après prélèvement, les échantillons de lichens sont envoyés en laboratoire (sur la période 2009-2022 le laboratoire CARSO, Vénissieux) pour analyses de métaux et de dioxines / furanes.

2.5. Limites de quantification

La limite de quantification est la plus faible concentration d'un composé à analyser dans un échantillon qui puisse être quantifiée par le laboratoire d'analyse.

Les limites de quantification pour les analyses dans les jauges sont présentées en annexes 1 et 2.

Par convention et afin de faciliter la représentation graphique et les calculs, les valeurs non quantifiées (inférieures à la limite de quantification) sont considérées comme étant égales à la moitié de la limite de quantification.

2.6. Blancs terrains

Un blanc terrain est un échantillon transporté vers le site de prélèvement, conservé à côté des mesures durant la période d'échantillonnage mais ne subissant aucun prélèvement. Il est retourné au laboratoire d'analyse et traité de la même façon que les échantillons ayant servi aux prélèvements. Un blanc terrain est réalisé à chaque période de prélèvement, pour chaque type de mesure (retombées de métaux ou de dioxines / furanes). Il permet de contrôler si une éventuelle pollution a eu lieu lors des étapes de préparation, transport, manipulation, analyse.

3. Durée des campagnes de mesure

- Pour les jauges :

La durée des campagnes de mesures couvre généralement **deux périodes dans l'année pour les jauges, l'une en hiver et l'autre en été.**

Le choix a été fait d'élargir la durée d'exposition des jauges d'un mois conseillée dans la norme NF X43.014 à **huit semaines.**

En effet, des tests de prélèvements en continu ont été réalisés sur certains sites tout au long de l'année (sur l'estuaire et sur d'autres secteurs de la région) durant les années 2013 à 2015. Ils indiquent que 2 échantillonnages d'environ 2 mois suffisent dans la plupart des cas pour représenter ce qui se passe durant l'année, étant donné que les teneurs ne fluctuent que légèrement lorsqu'elles sont en dessous des valeurs repères hautes (percentiles 95 régionaux). Un écart de moins de 30% à la moyenne annuelle est considéré ici comme acceptable d'autant plus que ce type de mesure dans les retombées ne fait pas l'objet d'une réglementation européenne.

Au contraire, il peut être conseillé de mesurer en continu sur l'année dans le cas particulier de la proximité directe à un émetteur dont les émissions fluctuent fortement dans le temps.

- **Pour les lichens :**

L'échantillonnage se fait **une fois par an**, puisqu'il est admis qu'une mesure dans les bioindicateurs permet d'évaluer la pollution moyenne sur la période annuelle écoulée, précédant le prélèvement.

4. Méthode pour les choix des sites de prélèvements

Les sites de mesure sont répartis de la façon suivante :

- des points « de retombées maximales d'un incinérateurs »,

La recherche des points de retombées maximales des incinérateurs (ou de façon plus générale d'un émetteur) est réalisée à l'aide de modélisations. En l'absence d'une modélisation, le point de mesure est choisi sous les vents dominants, à proximité de l'émetteur (mais en dehors de l'enceinte du site industriel), et là où les contraintes de terrain le permettent.

- des points sous les vents d'autres émetteurs (exogènes aux études incinérateurs),
- des points de suivi en zones industrielles, afin de connaître les teneurs en milieu industriel,
- des points urbains d'intérêt (écoles, stades, hôpitaux, .), ou sur des secteurs ruraux habités ou cultivés qui renseignent sur l'exposition des riverains,

et des points témoins, qui ne renseignent pas sur la pollution mesurée localement mais qui permettent de situer les teneurs par rapport aux niveaux de fond :

- des témoins du niveau de fond urbain,
- 1 témoin du trafic routier et poids lourds : (en bordure de l'autoroute A13),
- 1 témoin rural (dans l'Orne).

5. Résultats et leur interprétation

5.1. Expression des résultats

Les résultats d'analyses fournis par le laboratoire pour les jauges sont exprimés en pg TEQ/échantillon (pour les dioxines / furanes) et en µg/échantillon (pour les métaux). Ils sont disponibles sur simple demande auprès d'Atmo Normandie : contact@atmonormandie.fr. Ces résultats sont ensuite exprimés par Atmo Normandie en "unités des dépôts de dioxines / furanes et de métaux" en divisant par la surface d'échantillonnage et par la durée d'exposition pour obtenir des pg TEQ/m²/jour (dioxines / furanes) et des µg/m²/jour (métaux).

Les résultats fournis par Aair Lichens dans les lichens sont exprimés en ng TEQ/Kg MS (pour les dioxines / furanes) et en mg/kg MS (pour les métaux).

Pour les dioxines / furanes, le système choisi pour exprimer l'équivalent toxique est OMS 2005.

5.2. Interprétation des résultats de retombées

Le retour d'expérience sur l'ensemble des mesures de l'observatoire régional des retombées indique qu'il peut y avoir parfois des valeurs aberrantes isolées et non expliquées. Mais lorsqu'une teneur élevée est mesurée plusieurs fois sur un site, il est peu probable qu'il s'agisse d'un biais ou d'une interférence. Ces méthodes (jauges, lichens) sont plutôt fiables, à condition d'interpréter les résultats qui sont confirmés : soit par une autre série de mesure, soit par une autre méthode en parallèle, soit par une origine avérée.

5.3. Interprétation des résultats dans les jauges

Les mesures de retombées réalisées ou récoltées par Atmo Normandie dans son observatoire régional couvrent progressivement depuis 2009 les principales zones industrielles, incinérateurs et fonderies de la région et leurs alentours.

Pour chaque polluant, des valeurs typiques régionales sont calculées (de la même manière pour chaque substance), auxquelles les résultats de retombées mesurés lors des campagnes de mesure peuvent être comparés afin de situer les teneurs. La période considérée ici est 2009 à 2021. Cependant, ces valeurs typiques régionales sont mises à jour tous les deux ans au fur et à mesure que la base de données continue à être alimentée.

Valeurs de référence dans les jauges

(Voir le tableau 2 sur la page suivante)

Il n'existe pas de valeur réglementaire française sur les résultats de retombées dans les jauges. Afin de situer les teneurs obtenues, celles-ci sont comparées :

- aux **valeurs repères régionales** calculées sur la base de données d'Atmo Normandie. Cette base de données comprend 904 échantillonnages pour les métaux et 770 pour les dioxines / furanes, sur la région et sur tous types de sites (urbains, ruraux, industriels, en proximité du trafic automobile), entre 2009 et 2021. L'observatoire s'enrichit en permanence.
En particulier, on comparera les résultats des campagnes **à la médiane régionale et au percentile 95 régional**³. Les valeurs proches de la médiane sont des résultats classiquement rencontrés. A l'inverse, les valeurs qui dépassent le percentile 95 sont des valeurs très peu observées et dont l'origine mérite d'être recherchée.
- aux valeurs réglementaires **allemandes ou suisses** pour certains métaux dans les jauges. Cependant, ces références sont anciennes (respectivement Juillet 2002 et Décembre 1985). Il n'existe pas à l'heure actuelle de version actualisée pour tenir compte de l'évolution des émissions de polluants au fil du temps.

³ La médiane est le nombre qui sépare la série ordonnée des données en deux groupes de même effectif (50% des résultats sont supérieures à la médiane et 50% inférieures à la médiane).

Le percentile 95 est la valeur pour laquelle 95% des résultats sont inférieures à cette valeur, et 5% sont supérieures.

Valeurs repères retombées (jauges)		Sb	As	Cd	Cr	Co	Cu	Mn	Ni	Pb	Tl	V	Zn	PCDD/F	Poussières sédimen- tables	
		µg/m ² /jour													pg/m ² /jour TEQ OMS 2005	mg/m ² /jour
Région	Normandie 2009-2021	Nombre	894	899	878	875	890	899	899	899	899	481	899	893	770	
		Médiane régionale	0.3	0.2	0.1	1.0	0.2	6.2	16.4	2.0	2.7	<LQ	1.4	38.2	0.7	
	Incinérateurs, fonderies, ZI, et leurs alentours, témoin rural, témoin trafic	Moyenne régionale	0.7	0.5	0.2	2.1	0.6	18.4	25.4	7.0	6.1	Arrêt en 2017	2.0	77.3	1.7	
		Percentile 95 régional	3.1	1.5	0.5	7.1	2.2	73.4	70.3	23.0	22.7		5.7	292.5	4.6	
		Maximum	21.9	8.6	7.0	39.2	9.1	568.3	444.9	473.1	171.9		29.9	897.7	31.0	
Etranger	Allemagne (2002 - TA Luft ¹)		4	2					15	100	2				350	
	Suisse (1985 - OPair ²)			2						100	2		400		200	

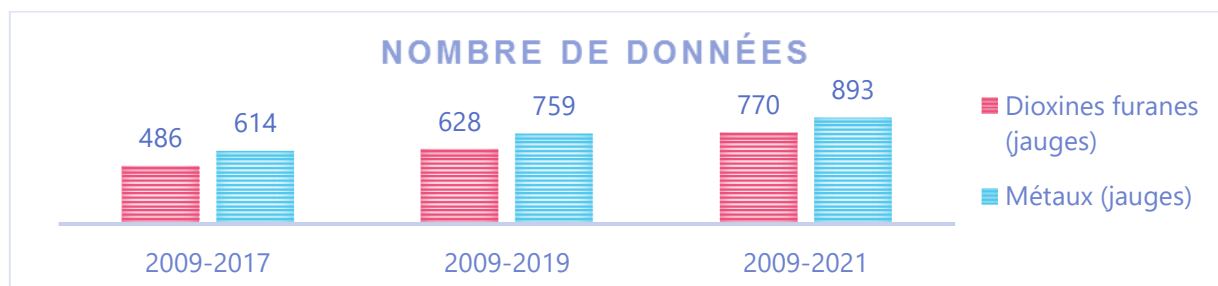
Tableau 2 : Différentes valeurs typiques (régionales et étrangères) de retombées des métaux et dioxines furanes - Version DR_VRP_805_V02

¹ 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

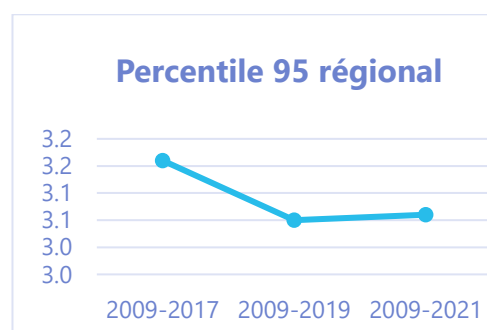
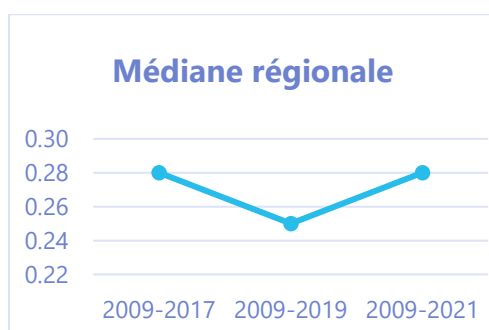
² L'Ordonnance Suisse sur la protection de l'air OPair - Décembre 1985
https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1986/208_208_208/fr

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

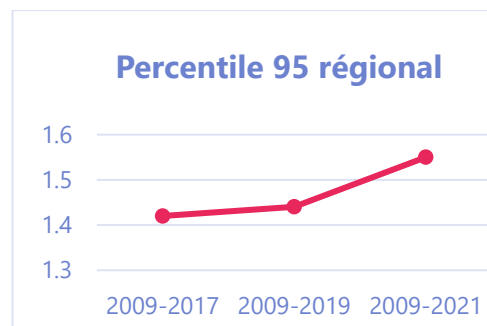
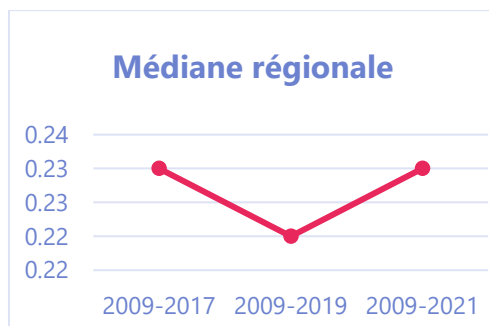
Version DR_VRP_805_V02



Antimoine
 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
 (Jauges)



Arsenic
 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
 (Jauges)



Cadmium
 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
 (Jauges)

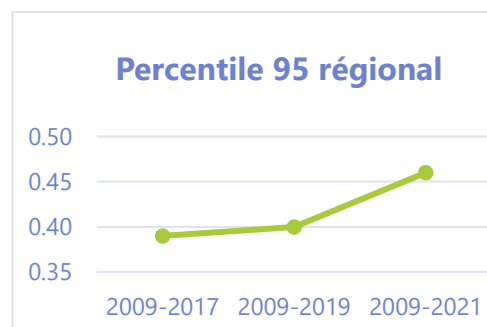
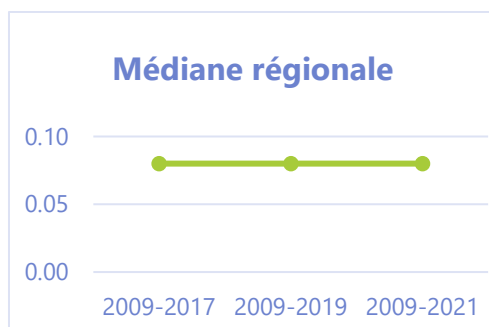
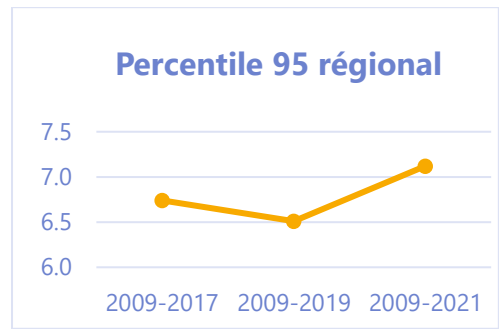
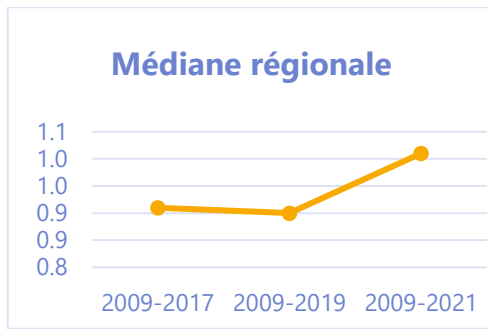
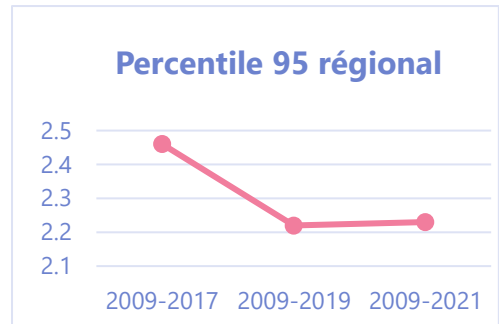
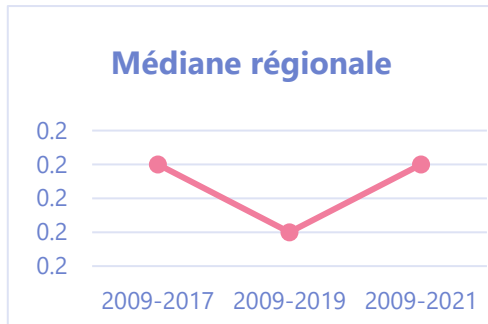


Figure 5 : Mise à jour biannuelle des valeurs repères régionales dans les retombées atmosphériques (jauges)

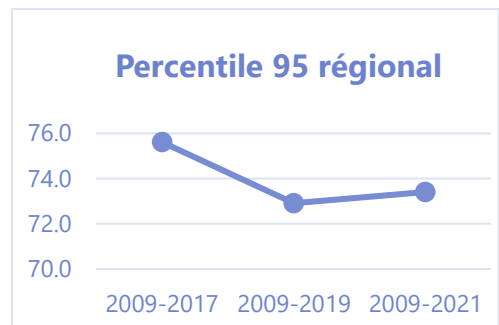
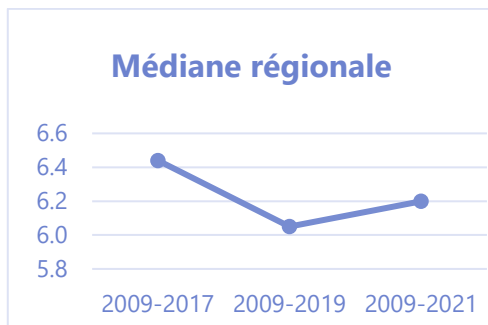
Chrome
 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
 (Jauges)



Cobalt
 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
 (Jauges)



Cuivre
 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
 (Jauges)



Manganèse
 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
 (Jauges)

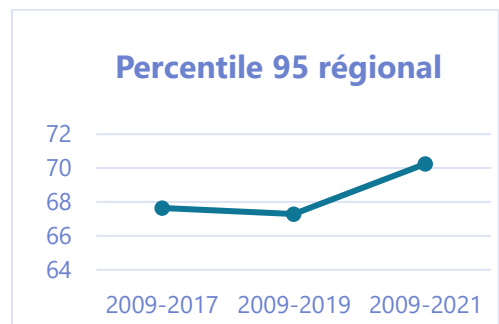
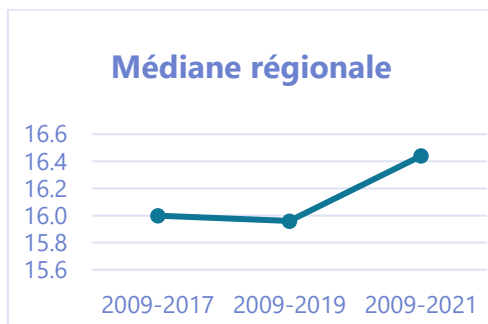
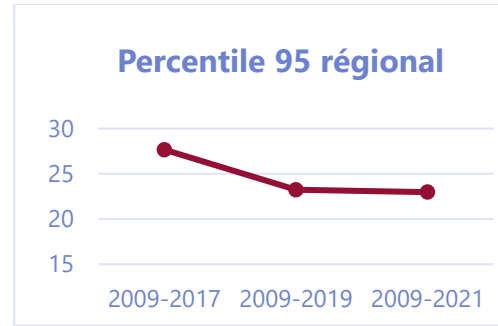
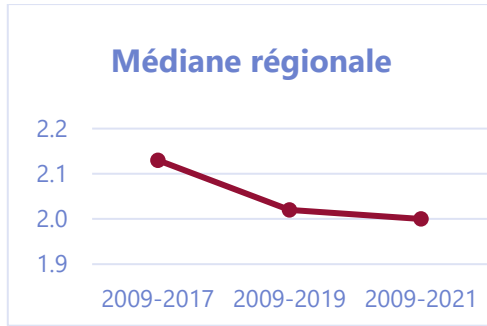
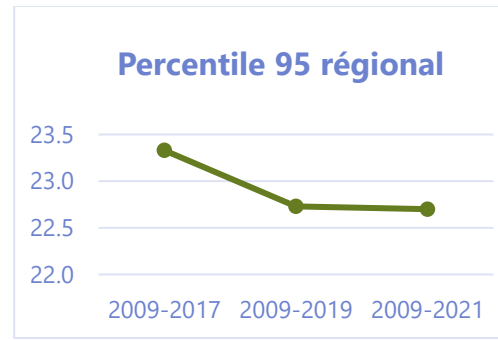
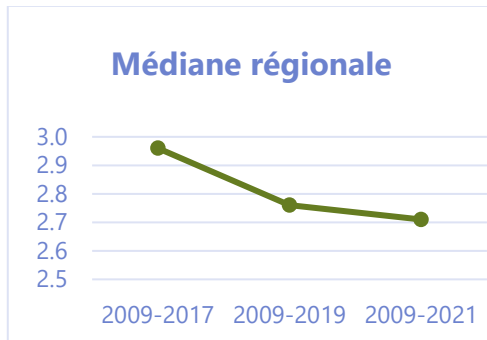


Figure 5 suite- Mise à jour biannuelle des valeurs repères régionales dans les retombées atmosphériques (jauges)

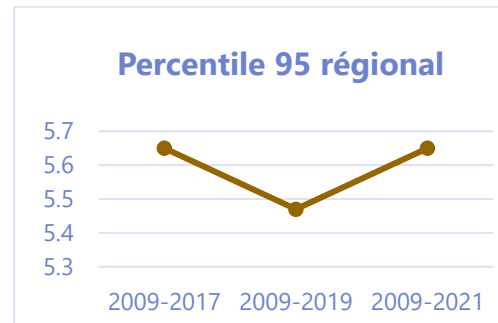
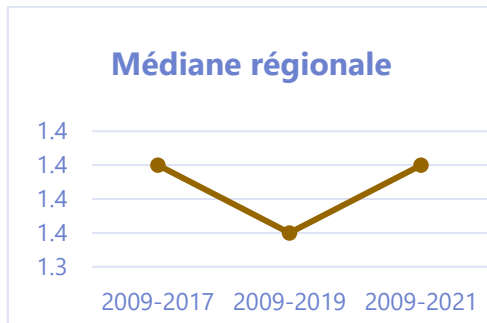
Nickel
 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
(Jauges)



Plomb
 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
(Jauges)



Vanadium
 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
(Jauges)



Zinc
 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
(Jauges)

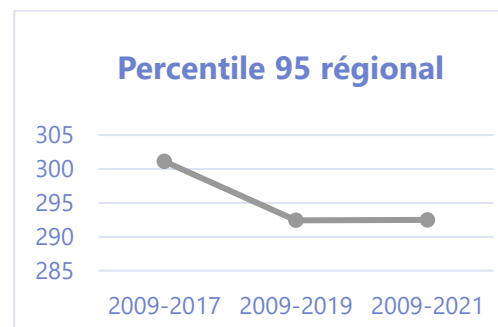
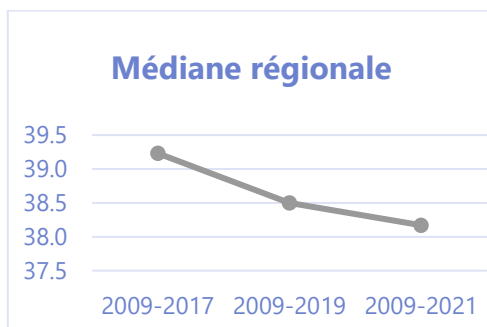


Figure 5 suite- Mise à jour biannuelle des valeurs repères régionales dans les retombées atmosphériques (jauges)

**Dioxines
furanés**
pg/m²/jour
TEQ OMS 2005
(Jauges)

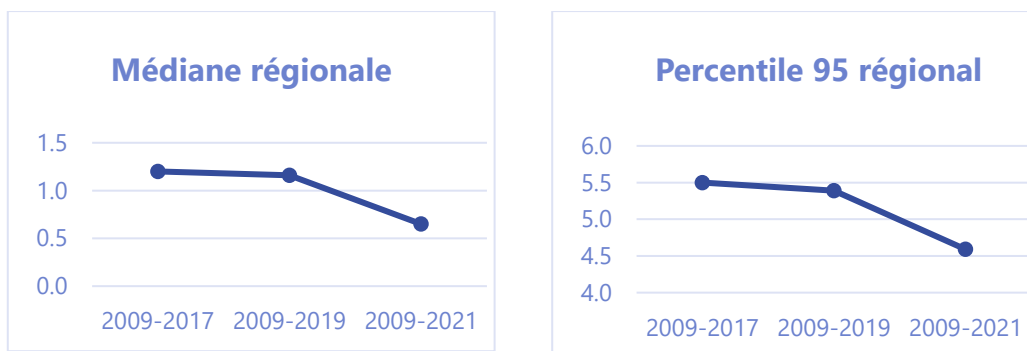


Figure 5 suite- Mise à jour biannuelle des valeurs repères régionales dans les retombées atmosphériques (jauges)

Commentaire :

Les statistiques sur la base de données de l'observatoire régional des retombées atmosphériques (dans les jauges) sont présentées graphiquement dans la **Figure 5** et en tableau dans **l'annexe 3** pour onze métaux et les dioxines furanes. Elles sont mises à jour tous les deux ans, afin d'intégrer les mesures récentes au fur et à mesure que l'observatoire des retombées grossit mais aussi de tenir compte des évolutions récentes des émissions de polluants atmosphériques (industrielles, automobiles, autres). Ainsi, la Figure 5 met en évidence une tendance à la baisse constatée au fil du temps des médianes et percentiles 95 régionaux pour les dioxines furanes et certains métaux (Cuivre, Plomb, Nickel, Zinc). Celle-ci témoigne probablement de la baisse progressive des émissions atmosphériques de ces substances. Pour d'autres métaux (Chrome, Manganèse), il s'agit au contraire d'une augmentation qui peut coïncider avec l'ajout d'un site de mesure plus pollué par l'un de ces métaux dans l'observatoire des retombées. Les tendances pour les autres métaux sont moins flagrantes ou ne concernent que le percentile 95 régional et pas la médiane régionale.

5.4. Interprétation des résultats dans les lichens

Pour les lichens, il n'existe pas de valeur réglementaire ni sanitaire dans les lichens. Les résultats sont comparés à des valeurs de référence calculées à partir des bases de données d'Air Lichens ou d'Atmo Normandie à l'échelle régionale.

5.4.1. Valeurs repères proposées par Air Lichens

Les résultats peuvent être comparés à la grille d'interprétation proposée par Air Lichens, calculée à partir de sa base de données interne (plus de 50000 dosages de métaux et dioxines / furanes). Cette base de données s'enrichit en permanence. Pour chaque polluant sont proposées une valeur de bruit de fond et une valeur dite « de retombées significatives » (valeurs qui s'écartent de plus de 40% du bruit de fond) ;

Des valeurs dites « d'alerte » sont également proposées par Air Lichens pour certains polluants. Il ne s'agit ni de valeurs réglementaires ni de valeurs sanitaires, mais de valeurs élaborées par Air Lichens pour attirer l'attention. Elles sont basées, soit sur des résultats de mesure sur des secteurs présentant une pollution avérée

(par exemple des dioxines / furanes retrouvées dans le lait sur un secteur), soit en essayant d'établir de façon empirique un parallèle avec des valeurs normées dans les végétaux ou les produits comestibles.

Métaux (en mg/kg)	Valeur « significative » (Aair Lichens)	Valeur « d'alerte » (Aair Lichens)
Sb	0.7	
As	2	
Cd	0.3	1
Cr	5.6	
Co	1.1	
Cu	12	600
Hg	0.2	1
Mn	170	
Ni	4.9	
Pb	12	100
V	5.6	
Zn	70	
PCDD/F (en ng/kg)	2.8	20

Tableau 3 : Valeurs repères non réglementaires proposées par Aair Lichens à partir de sa base de données - Janvier 2023 [5]
(ces valeurs repères peuvent être réactualisées au fil du temps)

5.4.2. Valeurs typiques régionales dans les lichens

Les mesures dans les lichens réalisées par Atmo Normandie dans le cadre de son observatoire régional sont confiées à une société spécialiste de l'étude de la qualité de l'air par la lichénologie. Elles couvrent progressivement depuis 2009 les principales zones industrielles, incinérateurs et fonderies de la région et leurs alentours.

De même que pour les jauges, des valeurs typiques régionales sont calculées (de la même manière pour chaque substance) : une médiane régionale et un percentile 95 régional, auxquelles les résultats de biosurveillance dans les lichens peuvent être comparés afin de situer les teneurs. (Voir le **Tableau 4** en page suivante).

De même que pour les jauges, les valeurs proches de la médiane sont des résultats classiquement rencontrés. A l'inverse, les valeurs qui dépassent le percentile 95 sont des valeurs très peu observées et dont l'origine mérite d'être recherchée.

La période considérée ici est 2009 à 2021. Cependant, ces valeurs typiques régionales sont mises à jour au fur et à mesure que la base de données continue d'être alimentée. La mise à jour biannuelle des valeurs repères

régionales dans les lichens est détaillée dans **l'annexe 4**. La tendance à la baisse mise en évidence dans les jauges au Chapitre 5.3 des médianes et percentiles 95 régionaux pour les dioxines/ furanes et certains métaux (Cu, Ni, Pb, Zn) est aussi constatée dans les lichens, au moins pour les médianes.

Données dans les lichens	Valeurs repères régionales 2009-2021	
Métaux (en mg /kg MS)	nombre d'échantillons	309
Antimoine (Sb)	Médiane régionale	1.4
	Percentile 95 régional	5.0
Arsenic (As)	Médiane	1.0
	Percentile 95 régional	2.8
Cadmium (Cd)	Médiane	0.3
	Percentile 95 régional	1.1
Chrome (Cr)	Médiane	5.0
	Percentile 95 régional	15.1
Cobalt (Co)	Médiane	0.9
	Percentile 95 régional	2.3
Cuivre (Cu)	Médiane	17.7
	Percentile 95 régional	157.1
Mercure (Hg)	Médiane	0.1
	Percentile 95 régional	0.5
Manganèse (Mn)	Médiane	56.0
	Percentile 95 régional	150.6
Nickel (Ni)	Médiane	5.9
	Percentile 95 régional	40.5
Plomb (Pb)	Médiane	11.2
	Percentile 95 régional	57.6
Vanadium (V)	Médiane	4.9
	Percentile 95 régional	15.1
Zinc (Zn)	Médiane	109.0
	Percentile 95 régional	607.5
Dioxines / furanes (en ng /kg MS TEQ OMS 2005)	nombre d'échantillons	285
PCDD/F	Médiane	3.2
	Percentile 95 régional	11.7

Tableau 4 : Statistiques sur la base de données dans les lichens régionale sur la période 2009-2021

6. Conclusion

Une méthodologie commune à la réalisation de l'ensemble des mesures a été définie dans le cadre du programme « Observatoire régional des retombées atmosphériques ». Elle garantit la qualité et l'homogénéité des données de retombées atmosphériques, par exemple en évitant les biais dûs aux changements de laboratoire d'analyses.

Sur les zones multi-émettrices, le fait de surveiller l'ensemble d'une zone et pas seulement chaque émetteur pris individuellement permet de prendre du recul et de mieux interpréter les résultats en tenant compte du positionnement des émetteurs par rapport aux différents points de mesures et en regardant s'ils peuvent ou non être contributeurs aux retombées selon notamment la direction des vents pendant une période donnée.

Pour une période donnée et pour un secteur donné, une seule méthode est choisie (par exemple celle des jauges de dépôt), ce qui permet la comparaison des points de mesures entre eux, avec les témoins (urbains, ruraux, trafic), avec les valeurs repères régionales et enfin avec l'historique pour étudier les évolutions au fil des années. Sur une autre période, la méthode des lichens pourra être appliquée selon le même principe. C'est le cas par exemple des secteurs havrais et rouennais, où la méthode des jauges alterne une année sur deux avec celle des lichens.

En l'absence de valeurs réglementaires sur les données de retombées atmosphériques, dans les jauges ou dans les lichens, les paramètres statistiques (médiane et percentile 95) calculés de la même manière pour chacun des métaux et pour les dioxines / furanes (TEQ OMS 2005) remplissent le rôle de valeurs repères régionales. En positionnant chacun des résultats obtenus par rapport à ces valeurs, il est ainsi possible de mettre en évidence les résultats qui dépassent les valeurs médianes de la région, d'une part, et les 5% de valeurs les plus élevées déjà rencontrées sur la région, d'autre part. Ces statistiques sont révisées régulièrement et permettent d'observer une baisse pour certains polluants (des dioxines furanes, du cuivre, du plomb, du nickel, du zinc) du fait de la baisse des émissions. Par ailleurs, en perspective, la liste des polluants mesurés pourra être étendue par la suite aux PCB (DL et indicateurs) et aux HAP (en particulier dans les lichens).

7. Bibliographie

[1] Institut national de l'environnement industriel et des risques – « 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 »

[2] 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.

[3] ATMO NORMANDIE - Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air en Normandie 2017-2021 – www.atmormandie.fr.

[4] ATMO NORMANDIE – «Mesures de retombées : études des données existantes et projet de mutualisation » - 2009 - Rapport d'étude n°E 08_21_09

[5] AAIR LICHENS – A23-1368 - Rapport de surveillance biennale Atmo Normandie Rouen – Surveillance des incinérateurs Emeraude – Vesta- Triadis et fonderie Inoxyda - 2022

Annexe 1 : Limites de quantification pour les dioxines furanes dans les jauges

Limites de quantification (LQ) pour les dioxines / furanes du laboratoire Micropolluants technologie (groupe LHP)

Congénères	LQ exprimées en pg/échantillon		
	LQ pg/échantillon	facteur OMS 2005	LQ OMS 2005 pg/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	0.000
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 HxCDF	0.500	0.1	0.050
1,2,3,4,6,7,8 HpCDF	1.000	0.01	0.010
1,2,3,4,7,8,9 HpCDF	1.000	0.01	0.010
OCDF	1.000	0.0003	0.000
TEQ (somme)			1.321

Commentaires :

Ces limites de quantification sont exprimées en pg OMS 2005 /échantillon.

Dans les rapports d'Atmo Normandie, elles sont ensuite divisées par la surface de collecte de la jauge et par le nombre de jours pour obtenir des pg OMS 2005 /m²/jour.

Enfin, par convention, on considère qu'une valeur inférieure à la limite de quantification est égale à la limite de quantification divisée par deux.

Annexe 2 : Limites de quantification pour les métaux dans les jauges

Limites de quantification pour les métaux du laboratoire INERIS

Métaux	LQ ($\mu\text{g/jauge}$)
Al	0.5
Sb	0,005
As	0,005
Cd	0,005
Co	0,005
Cr	0,005
Cu	0,025
Sn	0,005
Fe	0,5
Mn	0,005
Ni	0,025
Pb	0,005
V	0,013
Zn	0,025

Commentaires :

Ces limites de quantification sont exprimées en $\mu\text{g/échantillon}$.

Dans les rapports d'Atmo Normandie, elles sont ensuite divisées par la surface de collecte de la jauge et par le nombre de jours pour obtenir des $\mu\text{g/m}^2/\text{jour}$.

Enfin, par convention, on considère qu'une valeur inférieure à la limite de quantification est égale à la limite de quantification divisée par deux.

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

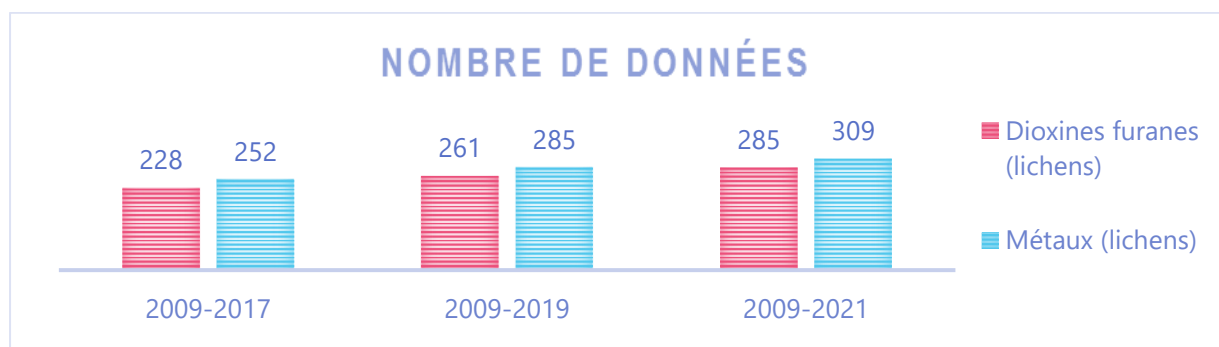
Médiane régionale	Sb	As	Cd	Cr	Co	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn	PCDD/F
2009-2017	0.28	0.23	0.08	0.91	0.22	6.44	16.00	2.13	2.96	1.40	39.23	1.20
2009-2019	0.25	0.22	0.08	0.90	0.21	6.05	15.96	2.02	2.76	1.36	38.50	1.16
2009-2021	0.28	0.23	0.08	1.01	0.22	6.20	16.44	2.00	2.71	1.40	38.17	0.65

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	75.61	67.65	27.67	23.33	5.65	301.12	5.50
2009-2019	3.05	1.44	0.40	6.51	2.22	72.91	67.29	23.22	22.73	5.47	292.42	5.39
2009-2021	3.06	1.55	0.46	7.12	2.23	73.41	70.25	22.97	22.70	5.65	292.50	4.59

Version DR_VRP_805_V02

Annexe 4 : Mise à jour biannuelle des valeurs repères régionales (dans les lichens)

Version DR_VRP_805_V02



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

Médiane régionale	Sb	As	Cd	Cr	Co	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn	PCDD/F
2009-2017	1.4	1.1	0.3	5.2	0.9	18.4	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	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	56.0	5.9	11.2	4.9	109.0	3.2

Percentile 95 régional	Sb	As	Cd	Cr	Co	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn	PCDD/F
2009-2017	5.0	2.8	1.1	13.3	2.3	171.1	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	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	150.6	40.5	57.6	15.1	607.5	11.7

Les évolutions les plus marquantes des valeurs repères régionales sont présentées pour cinq polluants : le cuivre, le nickel, le plomb, le zinc et les dioxines / furanes dans la **Figure 6** ci-dessous. Elles montrent une tendance à la baisse, au moins pour les médianes régionales.

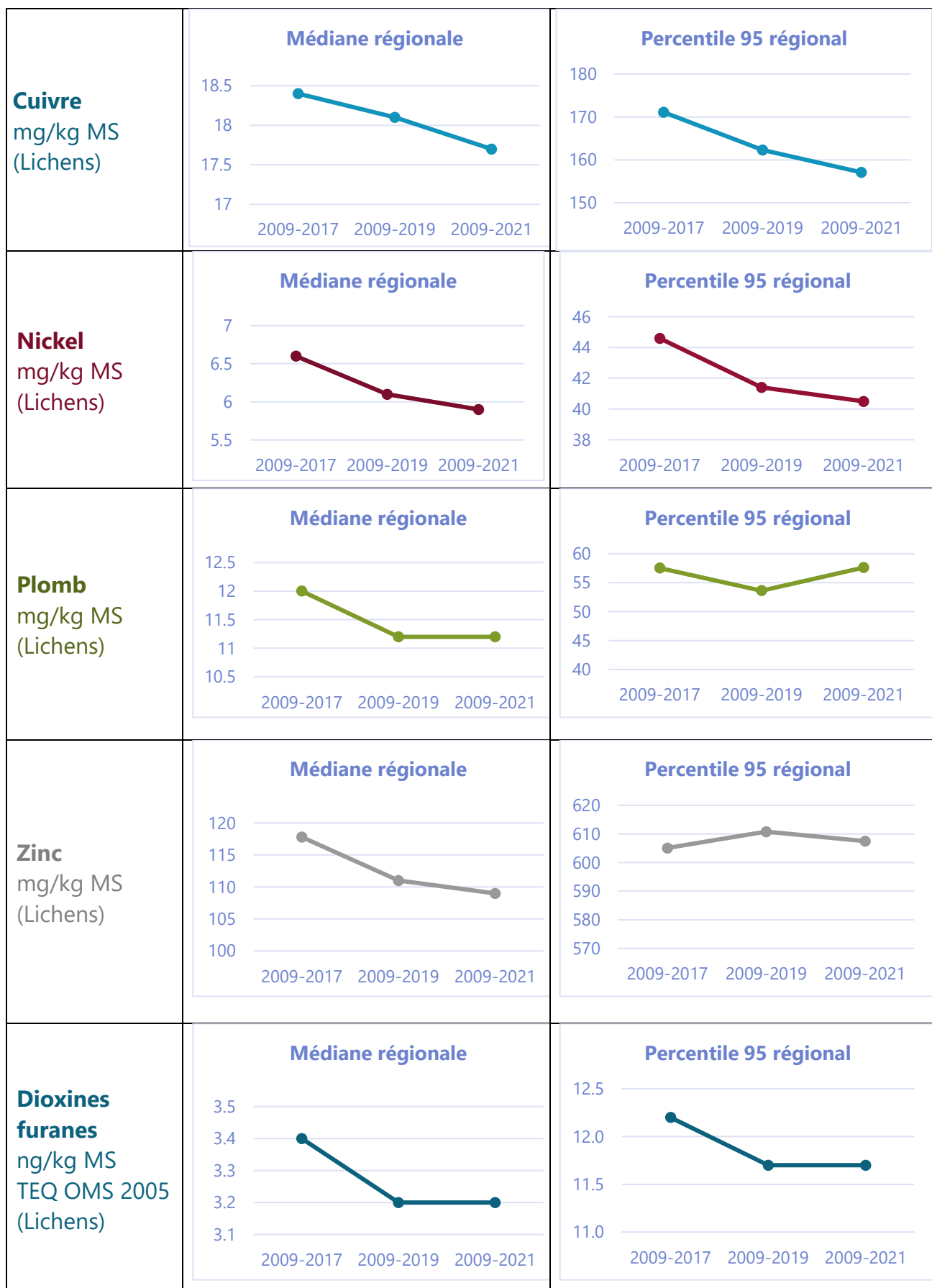


Figure 6 : Mise à jour biennale des valeurs repères régionales dans les lichens (pour Cu, Ni, Pb, Zn et PCDD/F)



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

