

Diagnostic environnemental
Expertises de la Qualité de l'Air
Etudes d'impacts



2025

Rapport de Suivi environnemental

SUEZ RV Energie - UVE

Mont-Blanc – Passy (74)

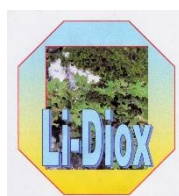
A26-1551

« Dioxines et furanes dans les lichens »[®] - Li-Diox[®] (PCDD/F)

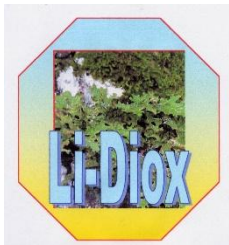
PCB-DL dans les lichens

ETM dans les lichens

Confidentiel



AAIR LICHENS – SARL à capital variable de 7622 € minimum – 17 rue des Chevrettes – 44470 CARQUEFOU
SIRET 429 598 485 00010 – APE 7120 B – RCS Nantes 429 598 485 - ☎ 02 40 30 14 90 – 📠 02 40 30 14 60

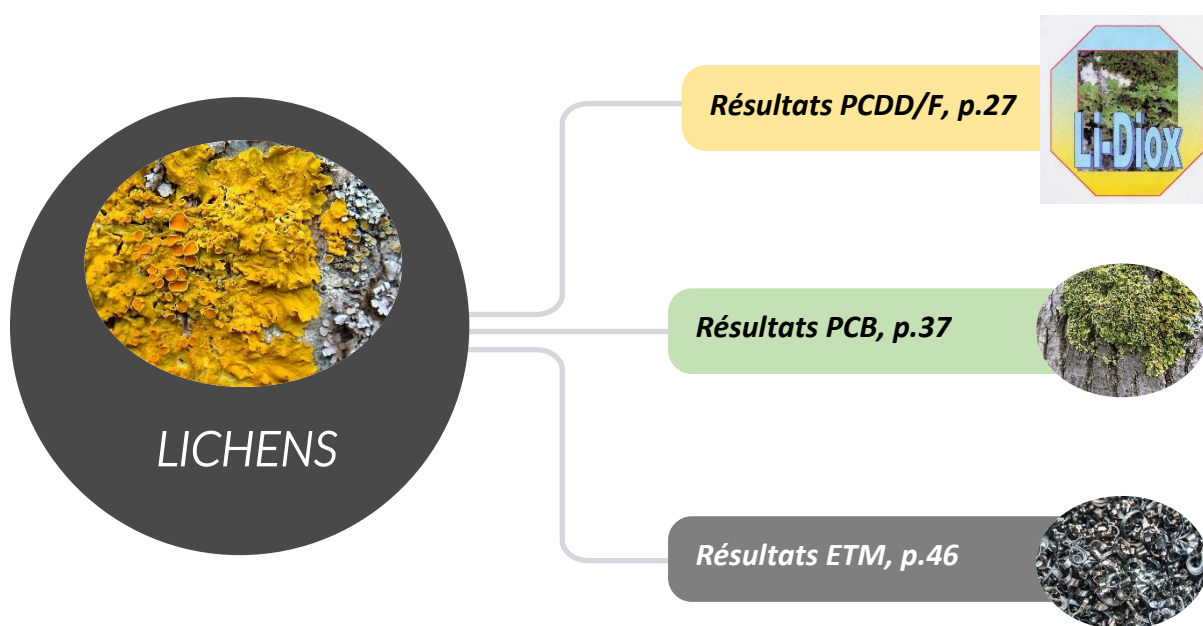
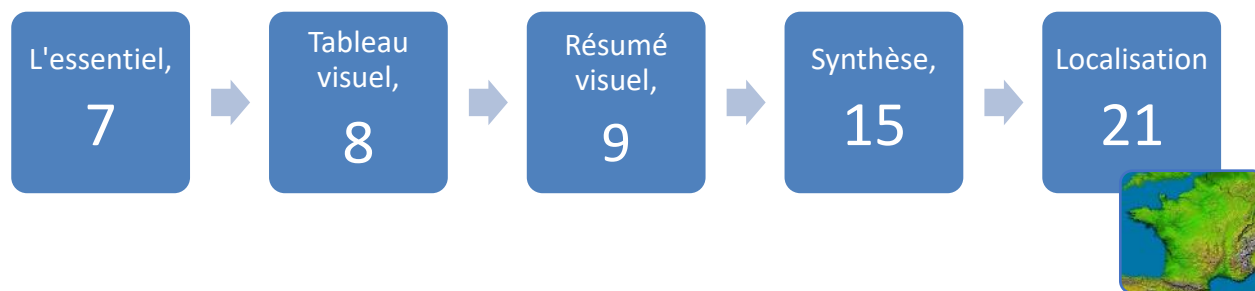


L'UVE SUEZ RV Energie à Passy (74).

RAPPORT DE MISSION

	DATES	AUTEUR
PRELEVEMENTS	OCTOBRE 2025	Dr Ph. Giraudeau
PREPARATION TRAITEMENT	OCTOBRE 2025	Viviane Trossail
ANALYSES	NOV. – DEC. 2025	CARSO
EXPLOITATION DES DONNEES	JANVIER 2026	Equipe Aair Lichens
RAPPORT	JANVIER 2026	Equipe Aair Lichens, Dr P. Giraudeau
VERIFICATIONS	FEVRIER 2026	Fanny, Dr en Sciences de l'Information et de la Communication
VALIDATION	FEVRIER 2026	Dr Ph. Giraudeau
		 PG 2025

SOMMAIRE VISUEL



SOMMAIRE

RAPPORT DE MISSION	2
SOMMAIRE VISUEL	3
SOMMAIRE	4
REMERCIEMENTS	5
HISTORIQUE ET DEROULEMENT	6
L'ESSENTIEL	7
TABLEAU VISUEL	8
RESUME VISUEL	9
SYNTHESE	15
BASES TECHNIQUES D'INTERPRETATION	17
LOCALISATION	21
RESULTATS PCDD/F & PCB	27
PCDD/F DANS LES LICHENS - Li-Diox®	27
RESULTATS ET INTERPRETATIONS	28
EVOLUTION.....	30
PCB-DL & PCDD/F + PCB-DL DANS LES LICHENS	37
RESULTATS ET INTERPRETATIONS	37
EVOLUTION.....	44
RESULTATS ETM	46
RESULTATS ET INTERPRETATIONS	46
EVOLUTION.....	51
IDENTIFICATIONS VISUELLES	57
BIOSURVEILLANCE	67
SAVOIR-FAIRE / PRELEVEMENTS	68
ORIGINE DES LICHENS TEMOINS	70
LA SOCIETE AAIR LICHENS	71
MARQUES ET BREVET	76
NORMES AFNOR ET CEN	79
GLOSSAIRE	80
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	82
ANNEXES	83
LES LICHENS - BIOINDICATEURS	83
FICHE ETM, MISE A JOUR CITEPA 2025.....	86
ANALYSE ET REGLEMENTATION DES PCDD ET DES PCDF	94
FICHE PCDD/F, MISE A JOUR CITEPA 2025	97
FICHE PCB, MISE A JOUR CITEPA 2025	99
FICHIERS D'ANALYSES ET EXPLOITATION	101

REMERCIEMENTS

► Nous remercions le Groupe SUEZ RV Energie pour son UVE Mont-Blanc à Passy (74) et sa Direction de l'Environnement pour sa confiance témoignée envers des méthodes de surveillances environnementales fiables et reproductibles (procédés exclusifs Aair Lichens).

► Nous remercions aussi les représentants de l'Etat, les acteurs locaux apportant leur soutien au suivi environnemental et l'ensemble des personnes ayant apporté leur contribution à ce dossier.

A NOS PARTENAIRES ET COMMANDITAIRES

Nous exerçons en toute confidentialité et les résultats ainsi que des données à caractère personnel ne sont jamais divulgués à des tiers par Aair Lichens sans autorisation.

Les données ont été acquises par le savoir-faire et les recherches d'Aair Lichens appuyés par ses propres marques et brevet.

©Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle de ces informations, sur tout support que ce soit, dont Internet, sans le consentement écrit d'Aair Lichens est illicite et constituerait un acte de contrefaçon sanctionné par les articles L.335-2 et suivants du Code de la Propriété Intellectuelle mais aussi une violation selon le RGPD.

HISTORIQUE ET DEROULEMENT

La biosurveillance environnementale annuelle autour de l'UVE de Suez RV Energie Mont-Blanc à Passy (74) est basée sur des dosages de polluants dans les lichens :

- 13 ETM (Sb, As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Hg, Ni, Pb, Tl, V, Zn), PCDD/F et PCB-DL.
- 9 emplacements : 7 pérennes y compris un témoin éloigné (L8-Ilettes) et 2 depuis 2022 dont 1 au plus près de l'UVE (L9-Site UVE).

CHRONOLOGIE

- ▶ Campagne de prélèvements :
 - Lichens, 10 octobre 2025
- ▶ Le laboratoire CARSO, agréé et certifié COFRAC, qui travaille avec Air Lichens, a accusé réception des échantillons préparés pour l'analyse le 18 novembre 2025.
- ▶ Les derniers résultats sont parvenus à la société Air Lichens le 22 décembre 2025.

INTERVENANTS

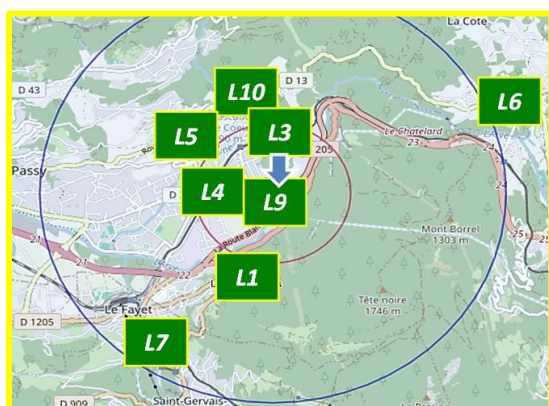
- ▶ Le travail de terrain a été effectué par le Docteur P. Giraudeau :
 - Directeur de la société Air Lichens,
 - Lichénologue spécialisé dans la reconnaissance des perturbations environnementales,
 - Diplômé de Recherche de l'Université de Nantes,
 - Expert certifié de l'Institut de l'Expertise,
 - Titulaire du Cours of Biomonitoring, Botanical Garden of Helsinki (Finland),
 - **Intervenant à l'UFR Sciences et Techniques, Recherche Biologie à l'Université de Nantes au Module XMS1BE850 de diagnostic environnemental,**
 - Membre de l'Association Française de Lichénologie (AFL) et International Association for Lichenology (IAL).
- ▶ La préparation des échantillons de lichens à la binoculaire a été réalisée par Viviane, cadre à la société Air Lichens.
- ▶ Air Lichens met au point des procédés cartographiques satellitaires avec des développeurs informatiques. Ils sont utilisés en R&D et pour des suivis environnementaux.
- ▶ L'exploitation des données, l'interprétation des résultats et la rédaction du rapport ont été effectuées par l'équipe Air Lichens et le Dr Philippe Giraudeau, sous sa responsabilité.
- ▶ Le contrôle qualité a été assuré par Fanny, Docteur en Sciences de l'Information et de la Communication.
- ▶ Le Dr R. Lallemand, Professeur issu de l'Université de Nantes, est le Conseil Scientifique.



L'ESSENTIEL

Le suivi annuel autour de L'UVE de Suez RE Energie Mont-Blanc à Passy (74) est basé sur des PCDD/F, des PCB-DL et 13 ETM sur 9 emplacements dont deux ajoutés en 2022 (L9 et L10). Le témoin L8 n'apparaît pas sur la carte.

LICHENS : ► Interprétation effectuée selon la base de données Air Lichens. *VS : Valeur significative/déterminante (=dépasse les valeurs repères selon la base de données Air Lichens).



PCDD/F, Li-Diox® : ► VS* > 2,8 ng/kg TEQ OMS.

PCB-DL : ► VS > 1,3 ng/kg TEQ OMS 2005.

PCDD/F + PCB-DL : ► VS > 4,1 ng/kg TEQ OMS 2005.

Aucun emplacement ne montre de valeur significative en PCDD/F, PCB-DL ou PCDD/F + PCB-DL.

Les courbes de tendance baissent entre 2022-2025.

PCDD/F : la dernière VS pour les emplacements pérennes L1 à L8 date de 2021, sur L4-Prés Chapeau et L6-Servoz.

Lors de son entrée dans le suivi, L9-Site UVE avait montré

des VS modérées, en 2022 et 2023.

Depuis 2024, les teneurs sont dans la fourchette des valeurs repères, sur les neuf points de suivi.

Les profils des congénères rappellent des possibilités d'influences complémentaires.

En PCB-DL ou PCDD/F + PCB-DL, les derniers taux déterminants datent de 2022, sur L9-Site UVE, et de 2021 sur L6-Servoz. Seuls ces deux emplacements ont été remarqués au moyen terme.

Les homologues montrent une possibilité de sources variées.

ETM : ► « VS » si dépasse les valeurs de référence d'au moins 40% (incertitudes cumulées).

• Charge métallique globalement stable sur les trois dernières campagnes. L9-Site UVE est davantage noté puis L4-Prés Chapeau, depuis 2024. Deux variations individuelles apparaissent (+ 30%) sur L1-Les Plagnes et L7-Le Fayet entre 2024 et 2025.

- 4 ETM sont déterminés : Ni, Cr, Cd, Zn.
- Ni : L6-Servoz et L10-Nord D13. Tous deux généralement dans la fourchette des valeurs repères.
- Cr : L10-Nord D13 (industriel et strictement local) et, pour la première fois au moyen terme, L6-Servoz.
- Cd : L4-Prés Chapeau (première fois) et le Site UVE (L9).
- Depuis 2022, Zn sur L9-Site UVE et L4-Prés Chapeau. En 2025, L7-Le Fayet dépasse aussi.
- Les autres ETM y compris les Cu ou Sb qui étaient notés en 2024 appartiennent aux valeurs repères.

PCDD/F, PCB-DL, PCDD/F + PCB-DL : Aucune valeur ne dépasse.

ETM : quelques dépassements sont observés par rapport à la gamme de valeurs.

TABLEAU VISUEL

2025

TABLEAU VISUEL - SUEZ RV ENERGIE MONT-BLANC PASSY -

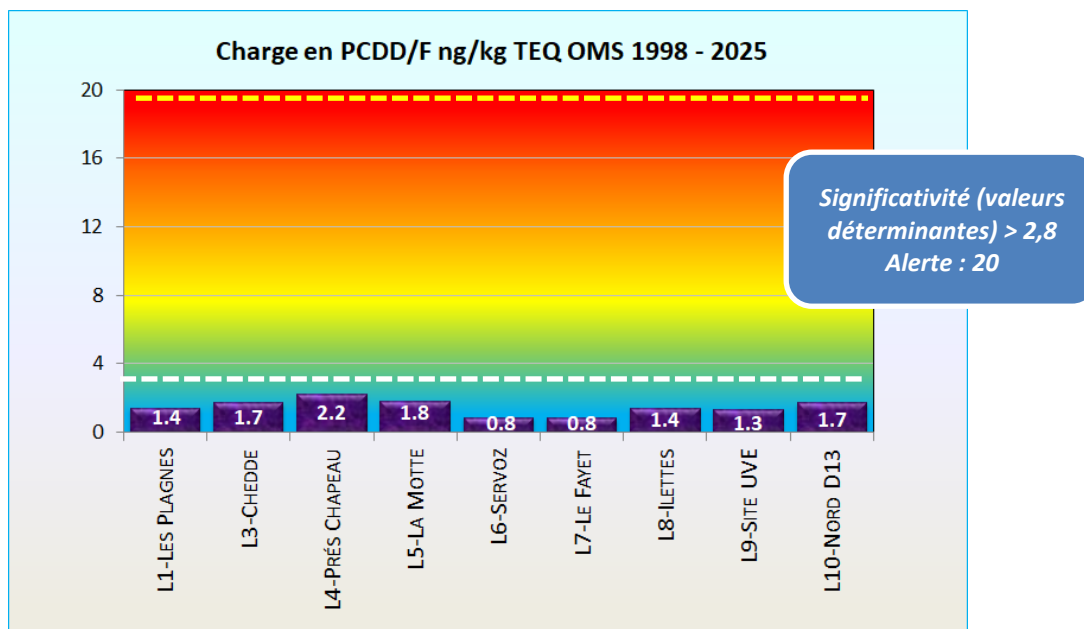
CONFORME	N'est pas significatif selon la base de données Air Lichens (B.d)																
DEPASSEMENT	Valeur significative selon la base de données Air Lichens (B.d)																
A SURVEILLER																	
NON CONFORME ALERTE	Alerte s'emploie, en dehors des réglementations, pour les valeurs exceptionnelles suivant la B.d.																
2025	PCDD/F OMS 1998	PCDD/F OMS 2005	PCB-DL OMS 2005	PCDD/F + PCB-DL OMS 2005	Ni	Cr	Cu	As	Cd	Pb	Sb	V	Co	Mn	Hg	Tl	Zn
L1-Les Plagnes	1.4	1.2	0.4	1.7	2.4	4.6	7.2	0.7	0.05	2.3	0.19	2.0	0.42	40	0.046	< L.q	50
L3-Chedde	1.7	1.5	0.4	1.9	1.4	2.2	6.6	0.6	0.10	3.1	0.35	2.0	0.30	25	< L.q	< L.q	47
L4-Prés Chapeau	2.2	2.0	1.0	3.0	2.3	2.6	8.3	0.8	0.34	3.9	0.38	2.2	0.58	36	0.048	< L.q	110
L5-La Motte	1.8	1.6	0.8	2.4	1.6	2.9	7.6	0.6	0.09	6.4	0.33	2.2	0.28	21	0.095	< L.q	37
L6-Servoz	0.8	0.8	0.5	1.3	6.8	8.8	8.0	1.2	0.10	2.5	0.25	3.7	0.80	42	0.050	< L.q	48
L7-Le Fayet	0.8	0.8	0.5	1.3	2.9	4.3	8.8	0.7	0.07	2.6	0.20	2.3	0.47	32	< L.q	< L.q	94
L8-Ilettes	1.4	1.3	0.5	1.8	2.7	3.8	9.6	1.8	0.10	2.5	0.30	3.8	0.70	49	0.050	< L.q	45
L9-Site UVE	1.3	1.2	0.6	1.8	2.8	2.9	10.5	0.7	0.34	6.9	0.63	1.9	0.53	26	0.048	< L.q	175
L10-Nord D13	1.7	1.5	0.4	1.9	5.0	8.3	11.2	1.0	0.10	7.0	0.55	4.0	0.65	40	0.100	< L.q	44
Valeurs repères	0,6 - 2,8		0,2 - 1,3	0,86 - 4,1	0,40-4,94	0,60-5,59	2,32-12,02	0,14-2,04	0,05-0,30	0,60-12,03	0,09-0,70	0,34-5,6	0,23-1,10	3,51-170	0,046-0,203	0,0	3,03-70,45
Première quartile Q1 25 %	1.5		0.4	2.0	1.33	1.94	6.23	0.6	0.09	2.3	0.23	1.755	0.37	32.43	0.066	0.0	33.25
Troisième quartile Q3 75 %	2.3		1	3.2	2.6	3.66	9.64	1.1	0.1775	5.3	0.49	3.37	0.70	81.58	0.125	0.0	53.41
Valeur significative	> 2,8		> 1,3	> 4,1	> 4,9	> 5,6	> 12,0	> 2,0	> 0,30	> 12,0	> 0,70	> 5,6	> 1,10	> 170	> 0,20		> 70
Valeur atypique Haute	3.04		1.5	5.64													
A surveiller	10 - 19		15 - 19	15 - 19	50		200		0.70	70				1000	0.50		500
Valeur alerte	20		20	20			600		1.00	100					1.00		
PCDD/F : ng/kg TEQ OMS		PCB-DL et PCDD/F + PCB-DL : ng/kg TEQ OMS 2005															
Interprétation des résultats adaptée de la norme		ETM : mg/kg / < L.q : inférieur aux limites de quantification du laboratoire															
XP X 43-910 de juin 2020 Norme Expérimentale																	

RESUME VISUEL

2025

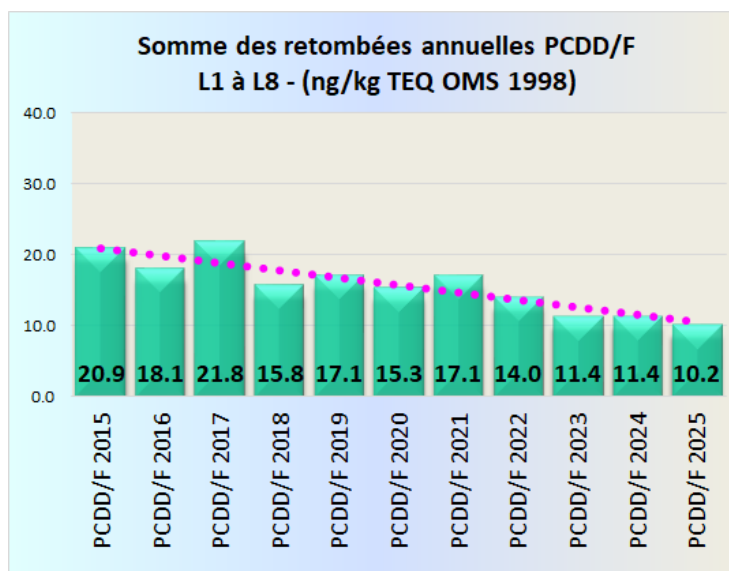
PCDD/F & PCB-DL DANS LES LICHENS

La *ligne discontinue blanche* figure la VS et la *ligne discontinue jaune*, la valeur alerte.



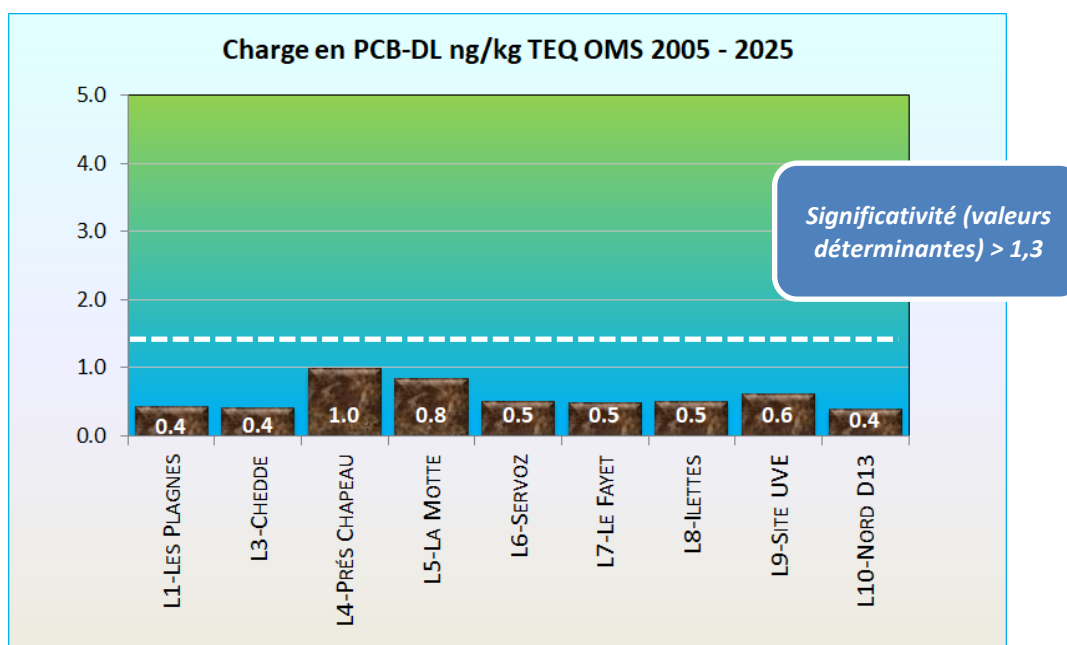
PCDD/F, ng/kg TEQ OMS 1998

Depuis 2024, aucun des résultats ne dépasse les valeurs repères de la base de données Air Lichens.



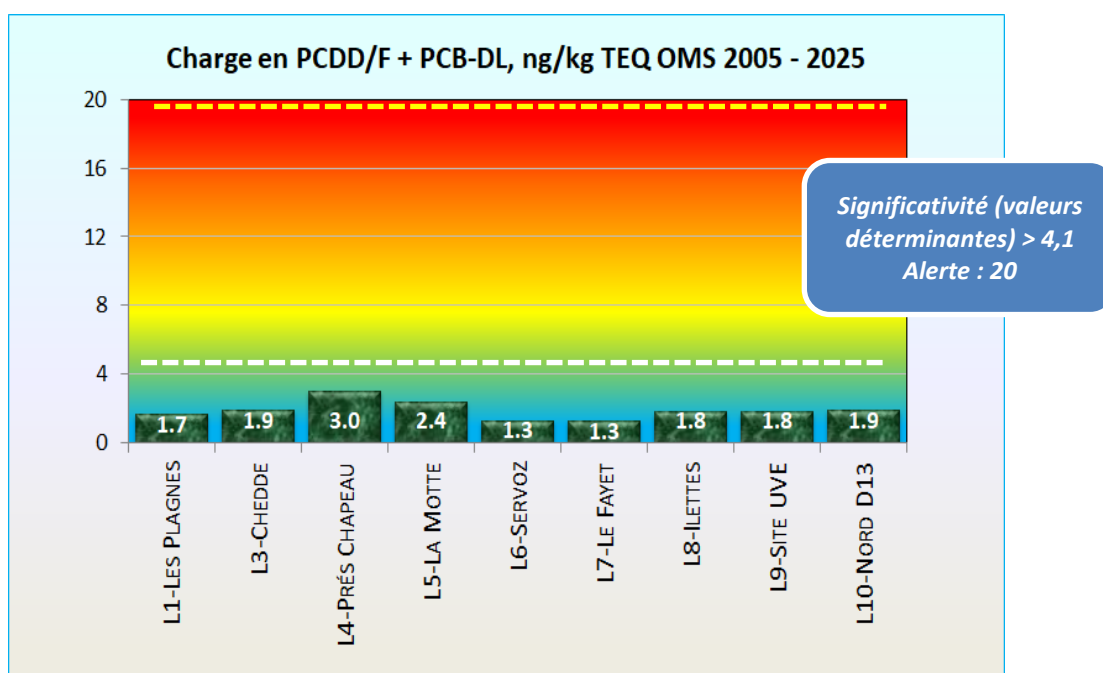
Evolution de la somme (L1-L8) des retombées annuelles au long terme - PCDD/F, ng/kg TEQ OMS 1998

Une décroissance d'ensemble des emplacements « pérennes » (L1 à L8) au long terme (2015-2025) est maintenue par la courbe d'inclinaison. La somme de 2025 est la plus faible sur les 10 dernières campagnes au moins.



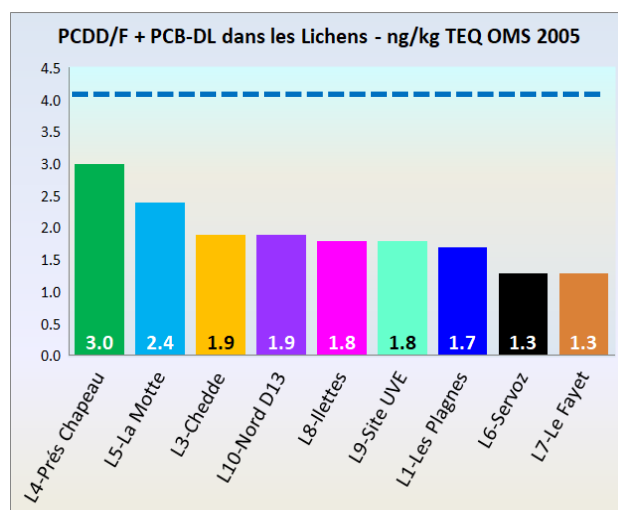
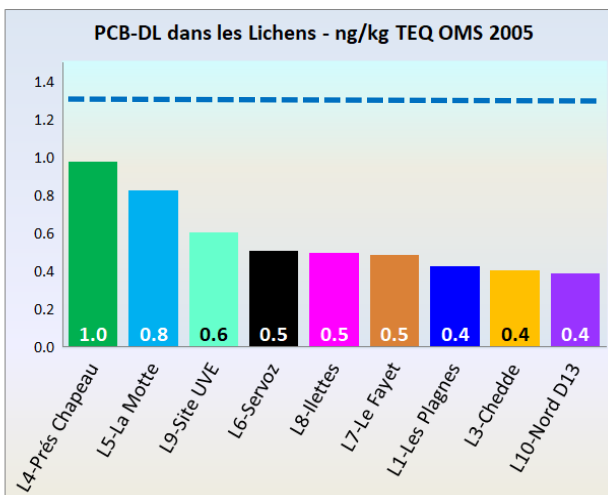
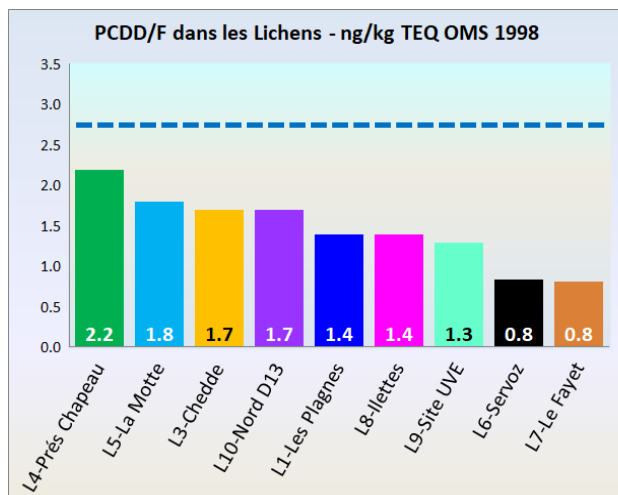
PCB-DL, ng/kg TEQ OMS 2005

Comme en PCDD/F, les valeurs appartiennent à la fourchette des teneurs repères, depuis 2023.



PCDD/F + PCB-DL, ng/kg TEQ OMS 2005

Avec des taux sans dépassement en PCDD/F ou en PCB-DL, la somme PCDD/F + PCB-DL désigne un ensemble de valeurs repères (depuis 2023).



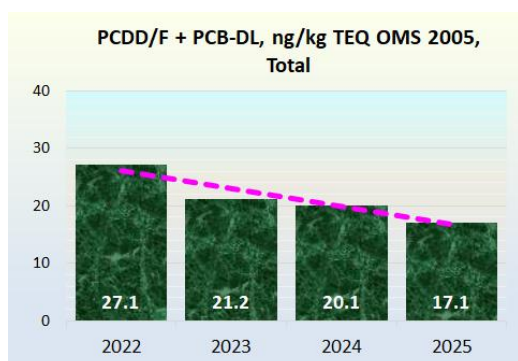
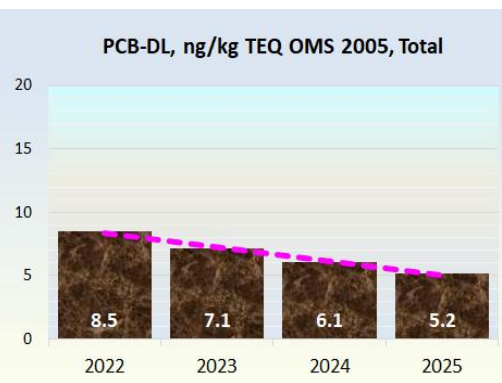
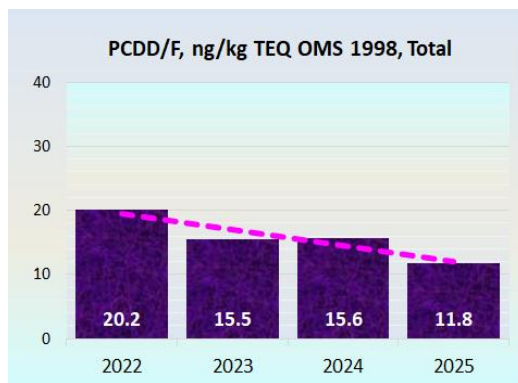
PCDD/F (ng/kg TEQ OMS 1998) ;
PCB-DL ; PCDD/F + PCB-DL (ng/kg TEQ OMS 2005).

Ordre décroissant de répartition des résultats avec la ligne VS. Les couleurs attribuées à chaque emplacement permettent une visualisation rapide.

Certains emplacements peuvent dépasser les autres parmi les valeurs repères, mais aucun ne les dépasse.

En 2025, les PCDD/F et PCB-DL sont partagés entre L4-Près Chapeaux, L5-La Motte.

L9-Site UVE est proche du résultat du témoin L8-Ilettes.

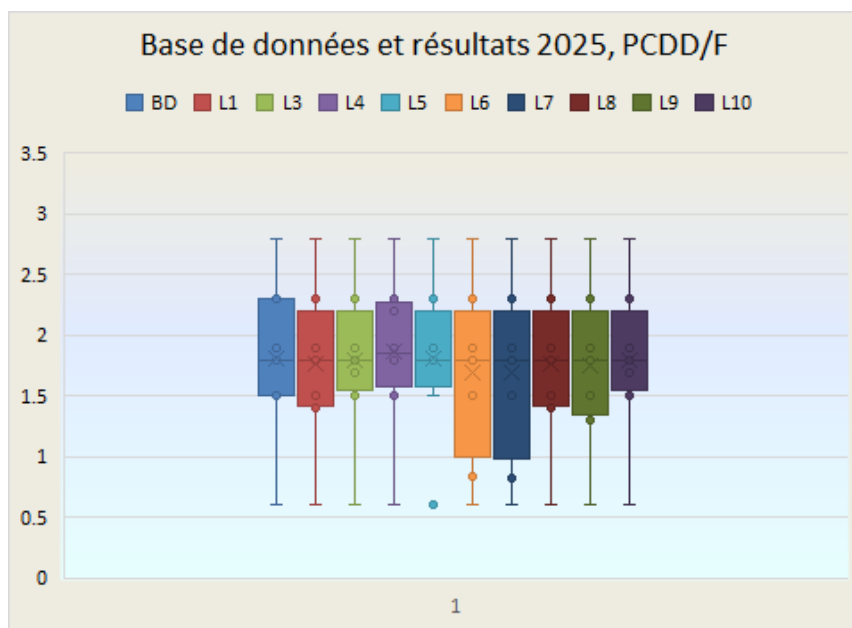


Evolution de la somme (L1-L10) des retombées annuelles
PCDD/F, ng/kg TEQ OMS 1998
PCB-DL, PCDD/F + PCB-DL, ng/kg TEQ OMS 2005

Une franche décroissance de la somme des teneurs entre 2022 et 2025 est repérée par la courbe de tendance.

D'après les recommandations de la DREAL de Haute-Savoie, concernant la norme expérimentale XP X 43-910 de Juin 2020 et selon l'état actuel des connaissances, Air Lichens a appliqué et adapté, dans la mesure du possible, les interprétations concernant les résultats d'analyses.

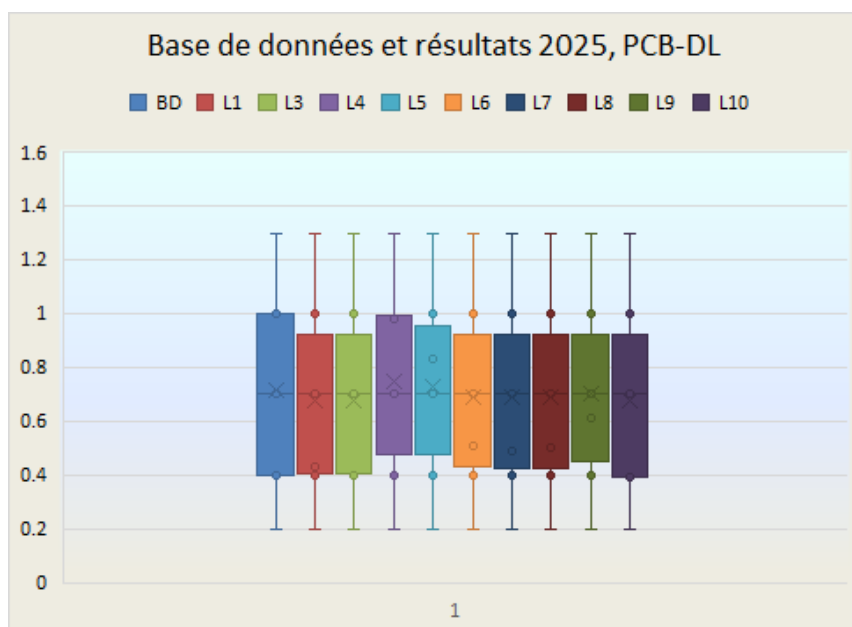
Nous avons également tenu compte des recommandations de l'INERIS des 40% pour mettre en évidence les pollutions à surveiller.



Résultats 2025 PCDD/F avec les valeurs repères de la base de données (BD) Air Lichens, adaptation de la norme expérimentale XP X 43-910 de Juin 2020 (ng/kg TEQ OMS 1998) – graphique boîte à moustaches.

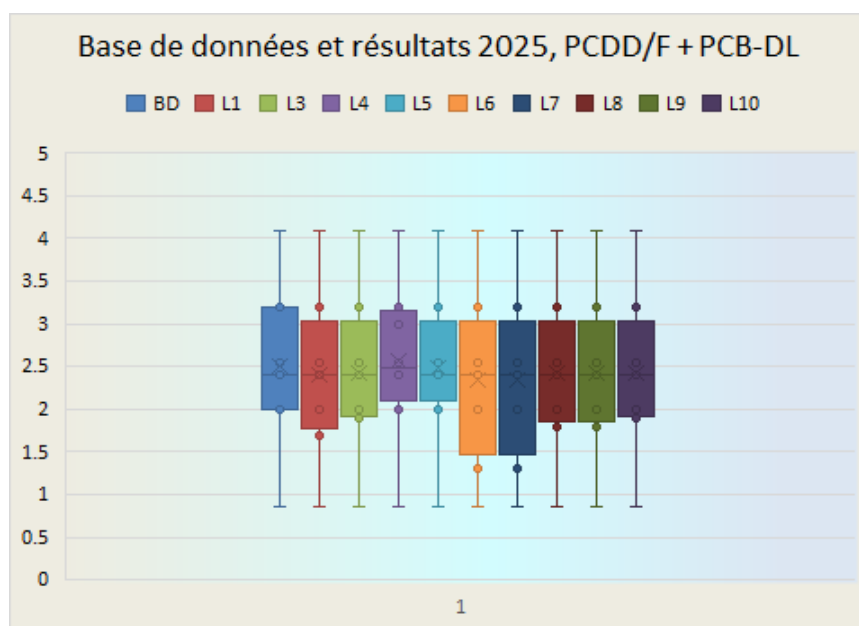
Absolument tous les résultats appartiennent aux teneurs repères.

Selon la base de données Air Lichens adaptant la norme expérimentale XP X 43-910 de Juin 2020.



Résultats 2025 PCB-DL avec les valeurs repères de la base de données (BD) Air Lichens, adaptation de la norme expérimentale XP X 43-910 de Juin 2020 (ng/kg TEQ OMS 2005) – graphique boîte à moustaches.

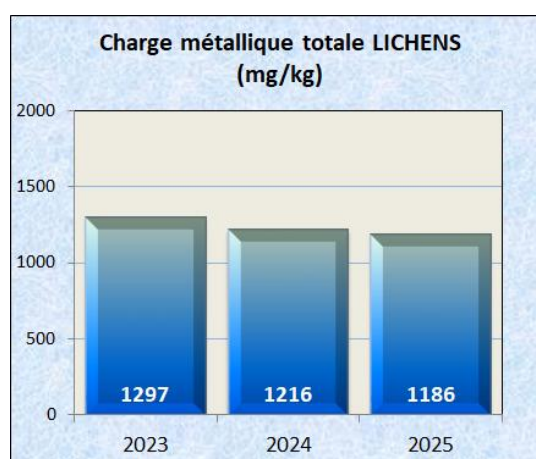
Aucun ne dépasse les valeurs-repères selon la base de données Air Lichens adaptant la norme expérimentale XP X 43-910 de Juin 2020.



Résultats 2025 PCDD/F + PCB-DL avec les valeurs repères de la base de données (BD) Air Lichens, adaptation de la norme expérimentale XP X 43-910 de Juin 2020 (ng/kg TEQ OMS 2005) – graphique boîte à moustaches.

Tous les résultats entrent parfaitement dans les valeurs-repères selon la base de données Air Lichens adaptant la norme expérimentale XP X 43-910 de Juin 2020.

ETM DANS LES LICHENS



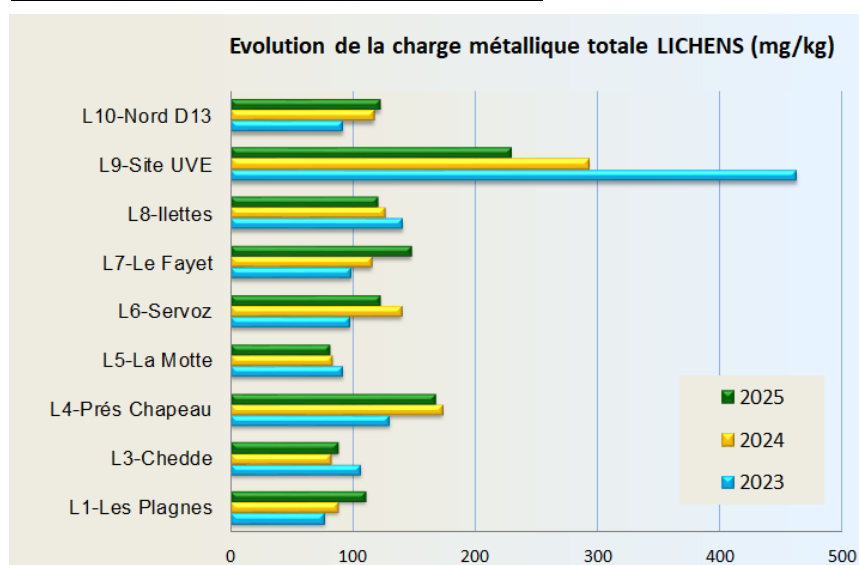
Evolution de la charge métallique totale (mg/kg) :

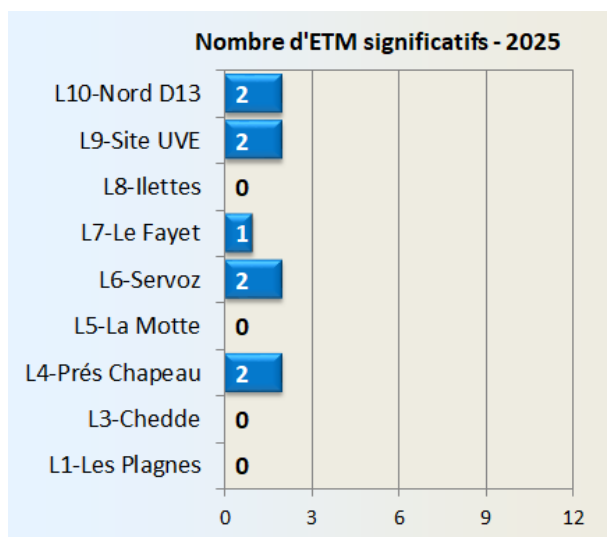
La charge totale présente une stabilité d'ensemble au court terme (2023-2025).

Evolution de la charge métallique par emplacement (mg/kg) :

La charge métallique des points de suivi peut varier au court terme.

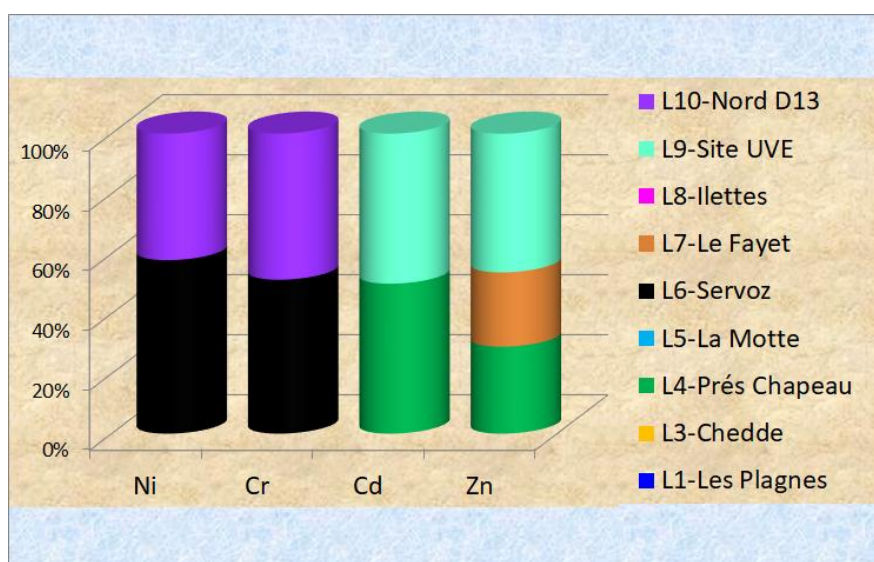
Une évolution est particulièrement notable : celle de L9-Site UVE qui décroît de 50% par rapport à 2023.





Nombre d'ETM VS par emplacement :

Peu d'emplacements et peu d'ETM sont déterminés selon les valeurs-repères Air Lichens.



Métaux déterminants, % - VS - selon la base de données Air Lichens

- 4 métaux sont déterminés : Ni, Cr, Cd, Zn.
- Ni : L6-Servoz et L10-Nord D13.
- Cr : L10-Nord D13 (strictement local) et L6-Servoz.
- Cd : L4-Près Chapeau (agricole) et le Site UVE (L9).
- Zn : L9-Site UVE, L4-Près Chapeau, L7-Le Fayet.

EN RESUME:

L9-Site UVE et L4-Près Chapeau : Cd et Zn.

L6-Servoz et L10-Nord D13 : Ni et Cr.

L7-Le Fayet : Zn.

SYNTHESE

2025

► Depuis plusieurs années, SUEZ RV Energie, pour son usine à Passy Mont-Blanc (74), bénéficie des atouts de la surveillance environnementale basée notamment sur les capacités des biocapteurs lichéniques.

L9-Site UVE et L10-Nord D13 ont été intégrés en 2022 (soit 9 emplacements dont le témoin L8).

► Les travaux d'Aair Lichens sont reconnus par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche : elle est agréée à réaliser des recherches pour des sociétés privées et pour les collectivités.

► Norme de prélèvements : lichens : NF X 43-904.

► 9 prélèvements de lichens avec dosages de PCDD/F, PCB-DL et ETM (Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Zn) soit **378** analyses réalisées (CARSO agréé et certifié COFRAC).

PCDD/F, PCB-DL

LICHENS : PCDD/F, Li-Diox®

► Les mesures de dioxines et furanes mettent en œuvre les enseignements du Procédé d'Aair Lichens et de ses marques associées : Li-Diox® et « Dioxines et furanes dans les lichens »®.

Les valeurs significatives (VS) sont supérieures à 2,8 ng/kg TEQ OMS.

Le seuil alerte de 20 ng/kg TEQ OMS est une limite à ne pas dépasser car il ne garantit pas l'innocuité des retombées. Il ne correspond pas à une recommandation officielle ou à une norme d'exposition mais **tout dépassement doit entraîner des vérifications en cas d'élevages laitiers à proximité.**

► Les résultats appartiennent à la fourchette des teneurs repères selon la Base de Données Aair Lichens.

Aucun ne présente de valeur haute parmi la gamme de valeurs.

► L'analyse logarithmique des congénères montre des profils rappelant des possibilités d'influences complémentaires sans entraîner de dépassement.

-----EVOLUTION-----

2021-2025 : très peu de résultats ont dépassé les valeurs-repères. La dernière teneur signalée pour les emplacements pérennes L1 à L8 date de 2021, sur L4-Prés Chapeau et L6-Servoz.

Lors de son entrée dans le suivi, L9-Site UVE avait montré des VS modérées, en 2022 et 2023.

Depuis 2024, les teneurs restent dans la fourchette des taux repères sur les neuf points de suivi.

2015-2025 : la courbe d'inclination des emplacements pérennes L1 à L8 maintient une décroissance avec la somme la plus faible au long terme. Il en est de même au regard des 9 emplacements sur 2022-2025.

PCB-DL

► Le bruit de fond détermine **des valeurs significatives (VS) supérieures à 1,3 ng/kg TEQ OMS 2005.**

► Aucun dépassement n'est visible, ce qui est une constante depuis 2023.

► La répartition par homologue est classique (PCB118, PCB105, PCB156).

PCDD/F + PCB-DL

► Le bruit de fond détermine **des valeurs significatives (VS) supérieures à 4,1 ng/kg TEQ OMS 2005.**

► Avec des PCDD/F des PCB-DL sans dépassement, aucun emplacement n'est à signaler avec la somme des 2.

-----EVOLUTION PCB-DL et PCDD/F + PCB-DL-----

2021-2025 : Les derniers taux dépassant la fourchette des valeurs-repères datent de 2022 pour l'ensemble des 9, sur L9-Site UVE, et de 2021 sur L6-Servoz pour les 7 emplacements pérennes. Seuls ces deux emplacements ont été remarqués au moyen terme.

2022-2025 : Les sommes des résultats présentent des décroissances franches.

ETM (METAUX)

► 13 ETM : Plomb (Pb), Cadmium (Cd), Mercure (Hg), Manganèse (Mn), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Arsenic (As), Antimoine (Sb), Nickel (Ni), Thallium (Tl), Vanadium (V), Cobalt (Co), Zinc (Zn).

LICHENS

► L'interprétation est effectuée selon la base de données Air Lichens. Une valeur est dite « significative » ou « VS » si elle dépasse les valeurs de référence d'au moins 40% (incertitudes cumulées).

- L9-Site UVE reste le plus chargé en masse métallique. Il est stable par rapport à 2024 et baisse de 50% par rapport à 2023. Il est suivi de L4-Près Chapeau.
- 4 ETM dépassent les valeurs repères : Ni, Cr, Cd, Zn sur deux à trois emplacements chacun.
- L9-Site UVE et L4-Près Chapeau : Cd et Zn. L6-Servoz et L10-Nord D13 : Ni et Cr. L7-Le Fayet : Zn.
- Les autres ETM appartiennent tous à la fourchette des valeurs repères en 2025.

-----EVOLUTION-----

► La **charge totale en ETM** est globalement stable avec des variations individuelles : L9-Site UVE est davantage noté puis L4-Près Chapeau, depuis 2024. Deux variations individuelles apparaissent avec une hausse de 30% sur L1-Les Plagnes et L7-Le Fayet.

2021-2025 : l'analyse de l'évolution s'intéresse aux 4 métaux remarquables VS en 2025.

- Le **zinc** se remarque annuellement sur L4-Près Chapeau qui confirme l'augmentation de 2024. Depuis son entrée dans le suivi, L9-Site UVE indique du Zn. Il confirme des décroissances graduelles. En 2025, L7-Le Fayet aussi dépasse les valeurs-repères.
- Le **chrome** est à relier au contexte industriel et aux activités locales (L7-Le Fayet en 2022 ou en 2025 sur L6-Servoz). L10-Nord D13 confirme son dépassement de 2024. Il n'est plus remarqué sur L9-Site UVE depuis 2024.
- Le **cadmium** n'était pas signalé en 2024. En 2025, L9-Site UVE et L4-Près Chapeau sont VS et restent modérés.
- Le **nickel** est signalé sur L6-Servoz et L10-Nord D13. L9-Site UVE appartient aux valeurs-repères depuis 2024.

Déterminés en 2024 mais pas en 2025, ne faisant pas l'objet d'une page à part :

- Le **cuivre** est généralement lié à la logistique ou la circulation automobile. Il dépasse régulièrement.
- L'**antimoine** est généralement relevé sur L9-Site UVE avec Cu et Zn et correspond à la logistique.

L'utilisation des lichens, dans le respect des procédures d'Air Lichens, assure une reproductibilité qui permet de suivre les retombées et la qualité du milieu.

MOTS-CLES : SUEZ RV ENERGIE – MONT-BLANC – PASSY (74) – LICHENS – DOSAGES – PCDD/F – LI-DIOX® – « DIOXINES ET FURANES DANS LES LICHENS »® – PCB-DL – ETM.

BASES TECHNIQUES D'INTERPRETATION

Les dosages sont réalisés par le Laboratoire CARSO à Lyon (69), agréé et certifié COFRAC. Les quantifications sont rendues avec une incertitude de 15% par le laboratoire.

ANALYTIQUE, NORMES DE REFERENCE & UNITES

Air Lichens transmet au laboratoire des échantillons préparés suivant les protocoles liés aux brevets et aux différentes normes. Ils sont identifiés par un nom et un numéro attribués par Air Lichens sans indication ni du lieu, ni de la nature du suivi ou du nom du commanditaire. Les mesures sont réalisées « en aveugle » par le laboratoire qui ignore ainsi comment les prélèvements sont géographiquement articulés les uns avec les autres ce qui évite toute interférence. Air Lichens est donc l'expert unique apte à effectuer les interprétations.

N.B : Pour les PCDD/F (et PCB) : Dans le cas des échantillons agro-alimentaires, la limite de quantification est telle que définie dans l'annexe I du règlement (UE) n° 644/2017. Il s'agit de la concentration de l'analyte dans l'extrait qui produit une réponse instrumentale aux deux ions suivis avec un rapport S/B (signal sur bruit) de 3:1 pour le signal le moins intense et remplit les critères d'identification tels que définis dans la méthode EPA 1613, Révision B.

Dans le cas des échantillons agro-alimentaires, les méthodes d'analyse sont conformes aux critères énoncés dans le règlement (UE) n°152/2009 du 27 Janvier 2009 et modificatifs (alimentation animale) et dans le règlement (UE) n° 644/2017 de la commission du 5 avril 2017 (alimentation humaine).

Pour plus de précisions, merci de se référer aux feuilles de résultats dans les annexes.

LEGENDE : M.I = Méthode Interne (normes EPA 1613, EPA 1668 et EN 16215), MB = Matière Brute, MS = Matière Sèche, MG = Matière Grasse.

LICHENS	Normes de références analytiques	Méthodes analytiques	Unités de Mesure
PCDD/F	EPA 1613 RB	MET-008 HRGC/HRMS Autospec ULTIMA (Waters)	ng/kg MB TEF OMS 1998 ou OMS 2005
PCB-DL	EPA 1668	MET-038	ng/kg TEQ OMS 2005
ETM	M.I. M_SM139 / M_SM140	MET-038 ICP/MS ou ICP/AES après minéralisation HNO3/H2O2	mg/kg MS

Normes de référence, Méthodes analytiques et Unités de mesure dans les lichens, d'après CARSO

Mesures de PCDD/F en ng TEQ/kg MB (Matière Brute). En réalité, pour les lichens, aucune différence de traitement n'existe car les échantillons sont fournis au laboratoire sous forme de matière sèche pulvérisée et ne subissent aucun traitement autre que les extractions au laboratoire. Dans ce cas, il s'agit de dénominations techniques et MB = MS.

VALEURS REPERES AAIR LICHENS

D'après les recommandations de la DREAL de Haute-Savoie, concernant la norme expérimentale XP X 43-910 de Juin 2020 et selon l'état actuel des connaissances, Air Lichens a appliqué et adapté, dans la mesure du possible, les interprétations concernant les résultats d'analyses.

Nous avons également tenu compte des recommandations de l'INERIS des 40% pour mettre en évidence les pollutions à surveiller.

Les tableaux ci-après présentent les Valeurs Repères et Valeurs Significatives - Base de Données Air Lichens.

Les valeurs repères sont celles d'un ensemble de données « France entière », entre 12 à 30 départements couverts selon les analyses réalisées sur les quatre dernières années : Adaptation de la norme Expérimentale XP X 43-910.

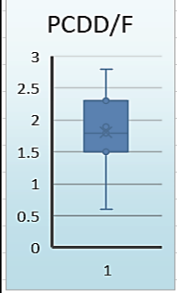
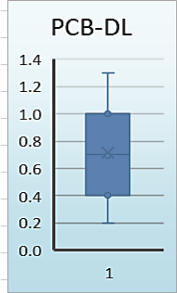
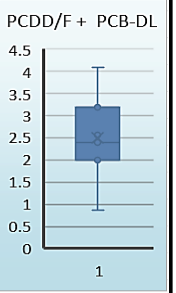
La colonne « Rf. RN » représente la valeur de la mesure dans les lichens, témoin type Air Lichens.

La « Valeur Limite ou Valeur alerte » représente les cas où des conséquences pourraient être dommageables.

N.B. : nous rappelons qu'il s'agit de valeurs dans les lichens.

Analyses LICHENS	VALEURS REPERES	Significativité (VSBD)	Analyse (Rf. RN)	Seuil de quantification	Valeur alerte
Dioxines/Furanes PCDD/F (ng/kg TEQ OMS 1998 ou 2005)	0,6 – 2,8	> 2,8	1,8 OMS 1998 1,6 OMS 2005	0,1	20
PCB-DL (ng/kg TEQ OMS 2005)	0,2 – 1,3	> 1,3	0,37	0,1	20
PCDD/F + PCB-DL (ng/kg TEQ OMS 2005)	0,86 – 4,1	> 4,1	2,4	0,1	20

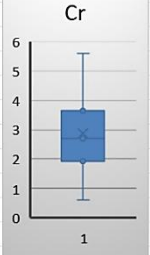
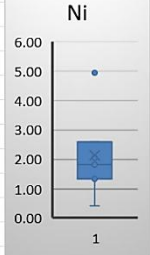
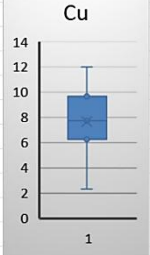
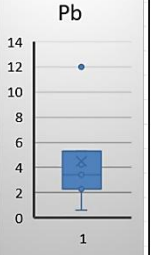
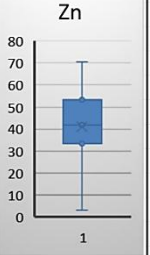
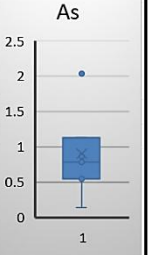
Ci-dessus : VSBD dans les lichens selon Air Lichens - (ng/kg TEQ OMS)

BASE DE DONNEES LICHENS : ADAPTATION NORME NORME EXPERIMENTALE XP X 43-910 Juin 2020	Dioxines et Furanes PCDD/F	PCB Dioxin Like PCB-DL	PCDD/F + PCB-DL
Nombre de données	486	181	195
Années couvertes	4 années	4 années	4 années
Nombre de départements couverts	30	12	12
Valeurs repères ng/kg MB OMS 1998	0,60 - 2,8	0,2 - 1,3	0,86 - 4,1
Valeur minimale	0.6	0.2	0.86
Valeur maximale	2.8	1.3	4.1
Première quartile Q1 25 %	1.5	0.4	2.0
Troisième quartile Q3 75 %	2.3	1.0	3.2
Médiane 50% ou Q2	1.8	0.7	2.4
Médiane 50 % avec formule directe	1.8	0.7	2.4
Moyenne avec formule directe	1.90	0.7	2.6
Distribution statistique			

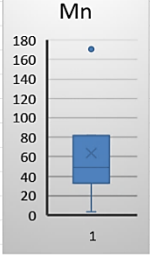
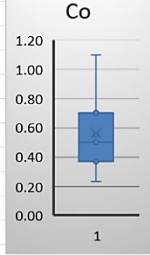
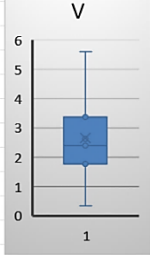
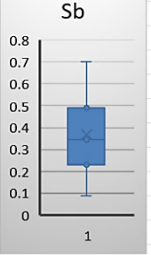
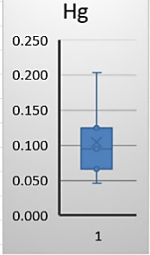
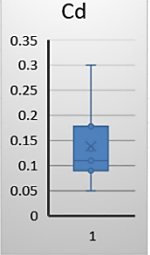
Ci-contre : Base de données Air Lichens, adaptation de la norme expérimentale XP X 43-910 de Juin 2020 - (ng/kg TEQ OMS)

Analyses LICHENS	VALEURS REPERES	Significativité (VSBD)	Analyse (Rf. RN)	Seuil de quantification	Valeur alerte
Chrome (mg/kg)	0,60 – 5,59	> 5,6	3,5	0,25	
Cuivre (mg/kg)	2,32 – 12,02	> 12,0	9,5	0,25	600
Arsenic (mg/kg)	0,14 – 2,04	> 2,0	3,4	0,10	
Mercure (mg/kg)	0,046 – 0,203	> 0,20	0,06	0,05	1
Cadmium (mg/kg)	0,05 – 0,30	> 0,30	0,1	0,05	1
Manganèse (mg/kg)	3,51 – 170,35	> 170	79	0,50	
Cobalt (mg/kg)	0,23 – 1,10	> 1,10	1,05	0,25	
Antimoine (mg/kg)	0,09 – 0,70	> 0,70	< L.q	0,10	
Nickel (mg/kg)	0,40 – 4,94	> 4,9	3,1	0,25	
Plomb (mg/kg)	0,60 – 12,03	> 12,0	4,2	0,10	100
Thallium (mg/kg)	0	0	< L.q	0,25	
Vanadium (mg/kg)	0,34 – 5,6	> 5,6	5,0	0,25	
Zinc (mg/kg)	3,03 – 70,45	> 70	36	0,50	

VSBD dans les lichens selon Air Lichens, ETM (mg/kg)

BASE DE DONNEES LICHENS : ADAPTATION NORME NORME EXPERIMENTALE XP X 43-910 Juin 2020		CHROME	NICKEL	CUIVRE	PLOMB	ZINC	ARSENIC
		Cr	Ni	Cu	Pb	Zn	As
Nombre de données		784	861	546	866	660	932
Années couvertes		4 années	4 années	4 années	4 années	4 années	4 années
Nombre de départements couverts		27	28	27	26	26	28
Valeurs repères mg/kg MS		0,60 - 5,59	0,40 - 4,94	2,32 - 12,02	0,60 - 12,03	3,03 - 70,45	0,14 - 2,04
Valeur minimale		0.6	0.40	2.32	0.6	3.03	0.14
Valeur maximale		5.59	4.94	12.02	12.03	70.45	2.04
Premier quartile Q1 25 %		1.94	1.33	6.23	2.32	33.25	0.55
Troisième quartile Q3 75 %		3.6625	2.60	9.64	5.32	53.41	1.13
Médiane 50% ou Q2		2.71	1.82	7.74	3.43	41.99	0.79
Médiane 50% formule directe		2.71	1.82	7.74	3.43	41.99	0.79
Moyenne avec formule directe		2.87	2.05	7.96	4.20	43.42	0.87
Distribution statistique							

Base de données Air Lichens, adaptation de la norme expérimentale XP X 43-910 de Juin 2020 - (mg/kg)

BASE DE DONNEES LICHENS : ADAPTATION NORME NORME EXPERIMENTALE XP X 43-910 Juin 2020		MANGANESE	COBALT	VANADIUM	ANTIMOINE	MERCURE	CADMIUM
		Mn	Co	V	Sb	Hg	Cd
Nombre de données		839	629	810	550	815	747
Années couvertes		4 années	4 années	4 années	4 années	4 années	4 années
Nombre de départements couverts		26	26	26	24	25	28
Valeurs repères mg/kg MS		3,51 - 170,35	0,23 - 1,10	0,34 - 5,6	0,09 - 0,70	0,046 - 0,203	0,05 - 0,30
Valeur minimale		3.51	0.23	0.34	0.09	0.046	0.05
Valeur maximale		170.35	1.10	5.6	0.70	0.203	0.3
Premier quartile Q1 25 %		32.4275	0.37	1.755	0.23	0.066	0.09
Troisième quartile Q3 75 %		81.575	0.70	3.37	0.49	0.125	0.1775
Médiane 50% ou Q2		49.49	0.50	2.41	0.345	0.095	0.11
Médiane 50% formule directe		49.49	0.50	2.41	0.35	0.095	0.11
Moyenne avec formule directe		61	0.55	2.63	0.37	0.099	0.134
Distribution statistique							

Base de données Air Lichens, adaptation de la norme expérimentale XP X 43-910 de Juin 2020 - (mg/kg)

LOCALISATION

► Le secteur d'étude est basé sur un rayon de 3km ayant pour centre l'usine de Passy. La présence du témoin local face à la ville de Sallanches porte la limite à 6 km environ de celle-ci.

RELIEF et RESEAU HYDROGRAPHIQUE

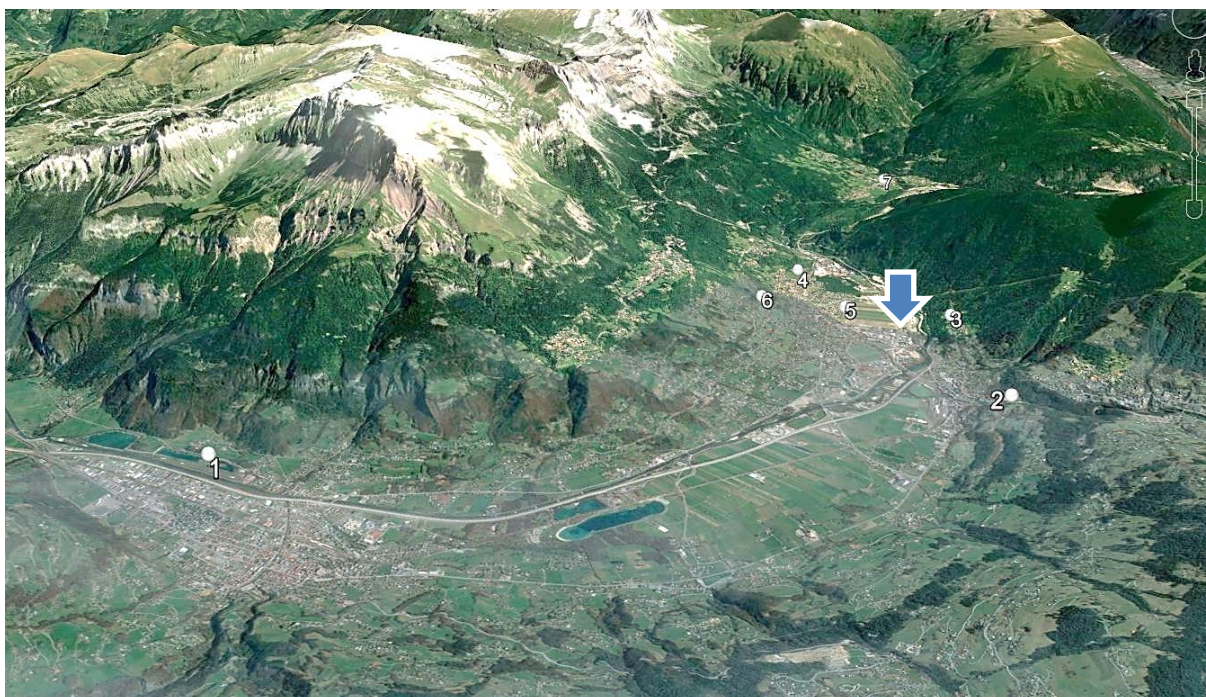
► Localisation : Partie orientale de la vallée de l'Arve.

► Altitude : 593m. Les variations de relief sont très rapides car l'altitude de 1000m est atteinte à moins d'1 km à l'Est, et 768m sont atteints au Nord au niveau du lieu-dit « Les Soudans ».

► Environnement urbain : La vallée s'étend vers l'ouest avec les villes de Passy, Chedde au Nord, Le Fayet et l'Abbaye au Sud, Marlioz à l'Ouest, puis Sallanches, à environ 7 km à l'ouest de l'usine.

► Les habitats sont diversifiés, plus denses dans la partie basse de la vallée, et les nombreux chalets constituent autant d'influences ponctuelles dont il faut tenir compte dans l'environnement. Leur nombre évolue assez rapidement et se densifie.

► Hydrographie : L'axe principal de la vallée est occupé par l'Arve qui est le symbole même de l'influence d'un cours d'eau dans un site montagnard.



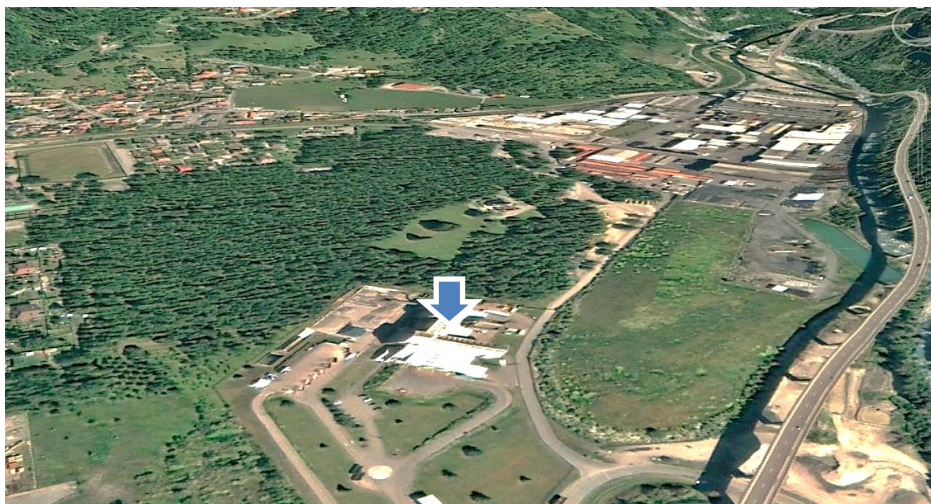
Vue satellitaire d'ensemble de la vallée et de la configuration en « impasse » (3D GGE), la flèche bleue localise l'usine.

ACTIVITES

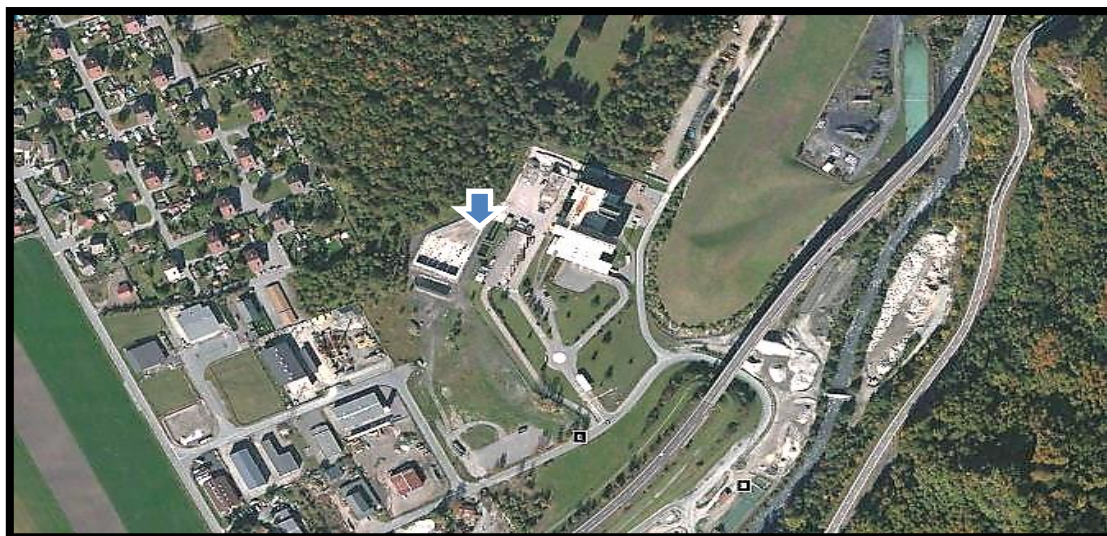
► L'influence industrielle n'est pas à négliger. Des scieries et menuiseries ont des émissions atmosphériques non précisément connues et brûlent leurs déchets de bois et sciures dans des fours souvent dénués de filtres.

► Outre la situation géographique en bordure de relief et à proximité d'une voie routière à fort trafic, l'usine se situe à proximité d'établissements classés soumis à autorisation :

- La SA SGL CARBON à Passy,
- La Société PCMB.



Localisation de Suez RV Energie et de SGL, en fond de vallée GGE. La flèche bleue pointe vers l'usine.



Vue satellitaire rapprochée intégrant la voie montante vers le Mont-Blanc, GGE. La flèche bleue indique l'usine.

► Depuis quelques années, plusieurs programmes en France par l'étude par les lichens (IGQA®) intégrant l'ensemble des sources locales ont démontré ponctuellement une diminution des impacts sur la qualité de l'air. Une étude analogue a récemment été pratiquée sur le secteur mais n'a pas été divulguée.

► Plusieurs influences peuvent se décomposer ainsi :

- L'A40 traverse toute la vallée. Son influence n'est probablement pas dominante sur le parcours effectué à vitesse régulière, de Cluses à la sortie « Passy ».
- Le Viaduc des Egratz, à fort trafic, surplombe plusieurs emplacements utilisés avec la pose d'ilibagues® dans un autre contexte.

- La voie express (N205) change les données car le régime des moteurs, notamment des poids-lourds, se modifie et ils deviennent plus polluants.
- La circulation automobile au niveau interne de la ville de Passy, la D39 jusqu'à Sallanches, influe sur la qualité de l'air locale.
- Les influences domestiques (chauffages domestiques) sont une préoccupation reconnue. Les brûlages de matières compostables à l'air libre sont désormais prohibés et les communes y sont attentives.

DESCRIPTIF

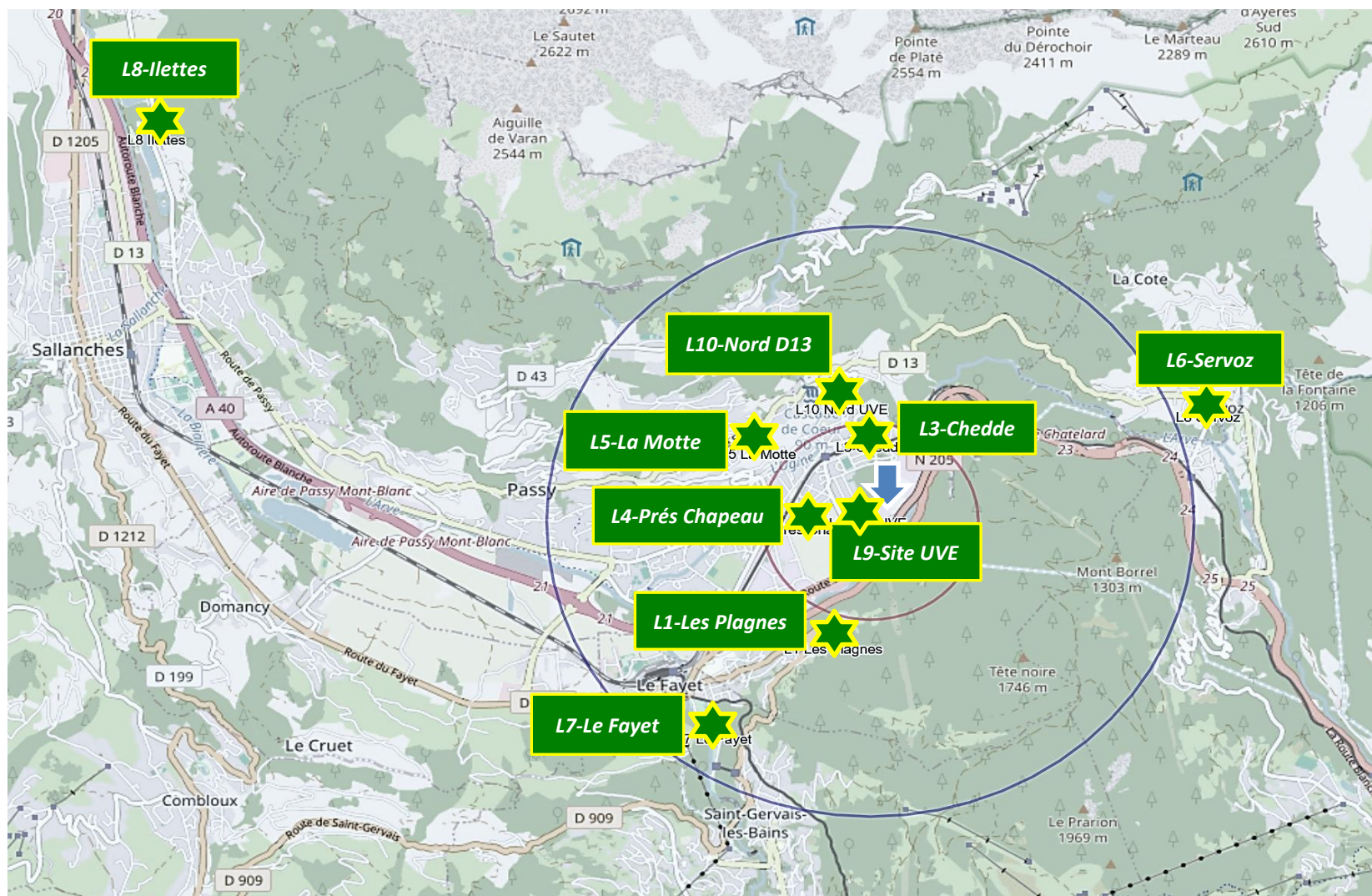
EMPLACEMENTS	DISTANCE KM	NORD	EST	ALT. M	PRECISIONS
L1-Les Plagnes	1,3	45,54,6132	6,43,2346	708	295 rue de la Bergerie – Les Plagnes 74190 Passy. A plus de 400m des habitats. Lichens : <i>Xanthoria parietina</i>
L3-Chedde	0,9	45,55,6779	6,43,4904	620	409 rue Paul Corbin 74190 Passy. Lichens sur noyer – Matériel ATMO en place. Lichens : <i>Xanthoria parietina</i>
L4-Prés Chapeau	0,5	45,55,2605	6,43,0700	602	815 rue des Prés de Chedde – 74190 Passy. Céréales. Lichens : <i>Xanthoria parietina</i>
L5-La Motte	1,3	45,55,6662	6,42,7137	720	576 Chemin de la Tour 74190 Passy – Prairie, village. Lichens : <i>Xanthoria parietina</i>
L6-Servoz	3,0	45,55,8866	6,45,9264	822	D17 74480 Place de l'église. Lichens : <i>Xanthoria parietina</i> et divers
L7-Le Fayet	2,6	45,54,1083	6,42,3652	625	Chemin du Berchat, Allée de l'Escalade. Lichens : <i>Xanthoria parietina</i> et divers
L8-Témoin llettes	8,2	45,57,0343	6,38,4598	549	1261 Ancienne Route impériale. D313–74700 Sallanches. Base des llettes. Lichens : <i>Xanthoria parietina</i>
L9-Site UVE	Interne	45,55,2590	6,43,5723	609	Rue de la Centrale - Lichens : <i>Xanthoria parietina</i>
L10-Nord D13		45,55,9311	6,43,3024	689	Route des Soudans Lichens : <i>Xanthoria parietina</i> et divers

Caractéristiques des prélèvements – Coordonnées WGS84

Il s'agit de documents techniques à l'usage d'Air Lichens qui n'en abandonne pas ses Droits.
©Ce tableau n'est pas utilisable sans autorisation pour effectuer inopinément et sans protocole des contrôles. La ressource lichénique est gérée et le procédé est exclusif.

CONDITIONS CLIMATIQUES LORS DE L'INTERVENTION

Date d'intervention	Heure de début	Température locale	Météo apparente / Précipitations	Vitesse des vents	Orientation des vents	Humidité ambiante	Pression barométrique
10 octobre 2025	9 h	10°C	Nuageux Pluies 0 mm /24H	3 km/h	NO	95%	1028 hPa



Localisation,
Carte OSM.

Rayons 1500m,
3000m

Les 9
emplacements de
mesures figurent
sur cette carte.

La flèche bleue
localise l'usine.

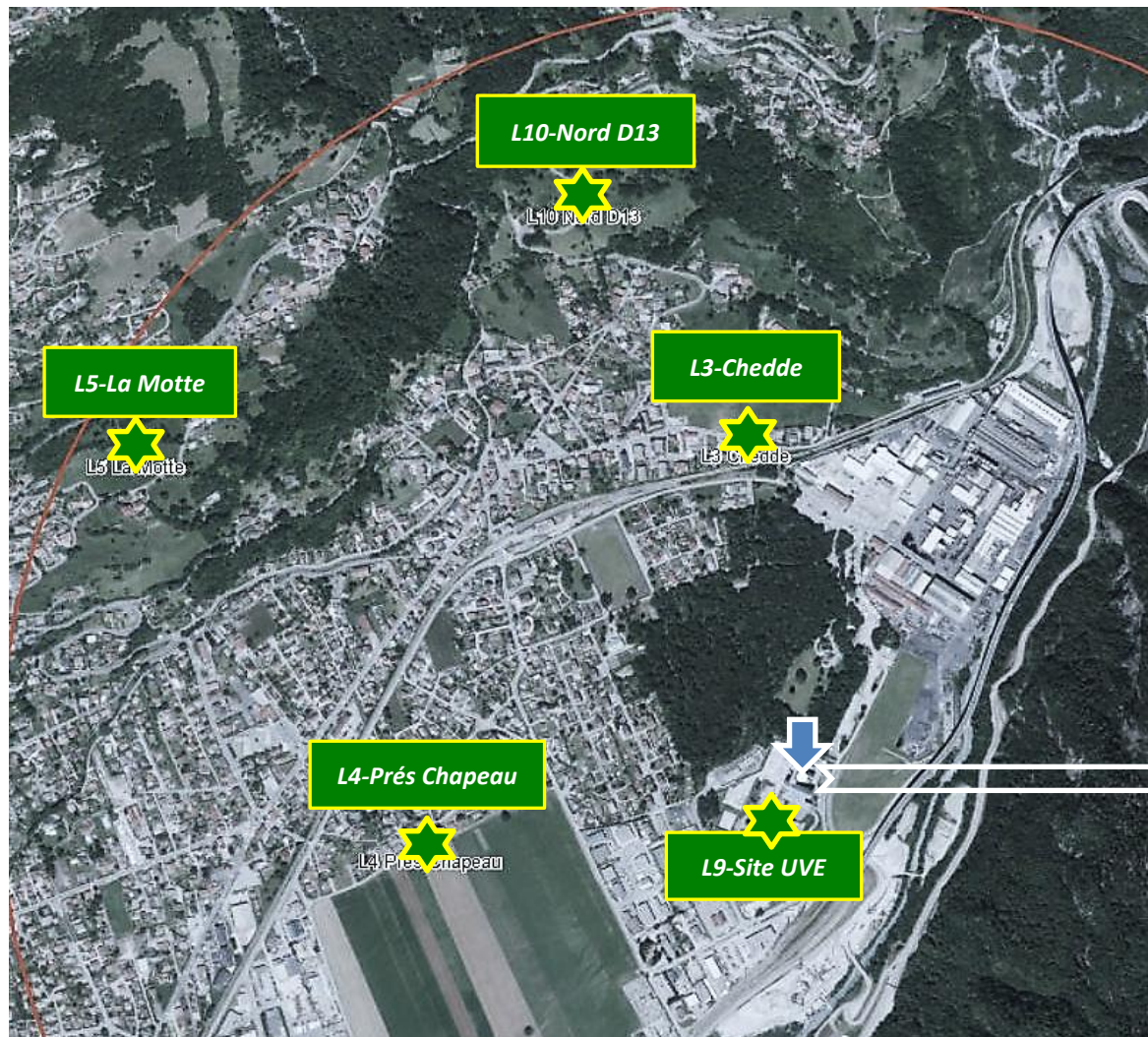


Localisation sur
carte Bing Sat

Rayons 1500m,
3000m

Sans le témoin L8-
Illettes.

La flèche bleue
localise l'usine.



Localisation de proximité sur carte Bing Sat

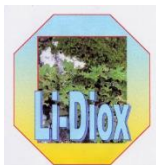
Rayon 1500m

La flèche bleue localise l'usine

Ci-dessous : vue satellitaire rapprochée de l'UVE, Bing Map



RESULTATS PCDD/F & PCB



PCDD/F DANS LES LICHENS - Li-Diox®

DEFINITION D'UN SEUIL ET VALEURS SIGNIFICATIVES PCDD/F

► Les travaux d'Air Lichens (Programme ADEMIOX – 2000 avec la participation d'Air Lichens) ont précisé les variations de contenu en PCDD/F sur la base de celui des Lichens (sols, herbes et lichens). Ils ont défini des « limites » confirmées à de nombreuses reprises.

Au-delà d'un seuil sanitaire ou réglementaire, il s'agit de bases d'interprétation.

► Lorsque les taux dans les lichens sont inférieurs à 20 ng TEQ/kg, les mesures des produits alimentaires sont toujours inférieures aux normes européennes. La grande sensibilité du procédé Li-Diox® permet de se situer en amont des risques d'introduction dans l'alimentation.

► D'autre part, l'exposition des lichens in situ est par définition de 365 jours par an, contrairement aux collecteurs de précipitation ou les légumes de potager, même standardisés.

► Les lichens retiennent les PCDD/F avec un équilibre entre leur contenu et l'air ambiant. Celui-ci évolue parallèlement à l'air, sur le principe d'une moyenne glissante.

La significativité est établie, basée sur les teneurs en France (ensemble de données « France entière », 30 départements couverts selon les analyses réalisées sur les quatre dernières années). Adaptation de la norme Expérimentale XP X 43-910.

	Différents niveaux d'action	Valeur la plus élevée dans l'étude (ng/kg TEQ OMS 1998)
Valeurs repères	0,6 – 2,8 ng TEQ/kg	2,2
Valeurs significatives mais inférieures au seuil maximal admissible	> 2,8 ng TEQ/kg	
Valeur atypique haute (d'après Norme)	3,04	
Valeurs à surveiller avec attention	≥ 10 ng TEQ/kg	
Valeur alerte, Seuil maximal admissible pour les lichens	20 ng TEQ/kg	
Valeurs importantes pour les lichens, devant entraîner des mesures complémentaires. Elles peuvent être liées à des contaminations (alimentation animale en priorité)	> 20 ng TEQ/kg	

Analogies permettant de définir des seuils pour les lichens, ng/kg TEQ OMS 1998.

- La surveillance avec les lichens permet un suivi dynamique et suit la réalité des retombées de polluants.
- La méthodologie d'interprétation est appliquée par rapport à l'évolution individuelle de chaque emplacement et l'évolution d'ensemble.

VALEURS REPERES : 0,6 – 2,8 ng/kg TEQ OMS
Pour des valeurs déterminantes supérieures à 2,8 ng/kg TEQ OMS

2025

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les résultats selon l'OMS 2005 sont plus faibles (révision des indices d'équivalents toxiques).

Emplacements	PCDD/F ng/kg TEQ OMS 1998	PCDD/F ng/kg TEQ OMS 2005
L1-Les Plagnes	1.4	1.2
L3-Chedde	1.7	1.5
L4-Prés Chapeau	2.2	2.0
L5-La Motte	1.8	1.6
L6-Servoz	0.8	0.8
L7-Le Fayet	0.8	0.8
L8-Ilettes	1.4	1.3
L9-Site UVE	1.3	1.2
L10-Nord D13	1.7	1.5
Valeurs repères	0,6 - 2,8	
Déterminant / Significatif (VS)	> 2,8	

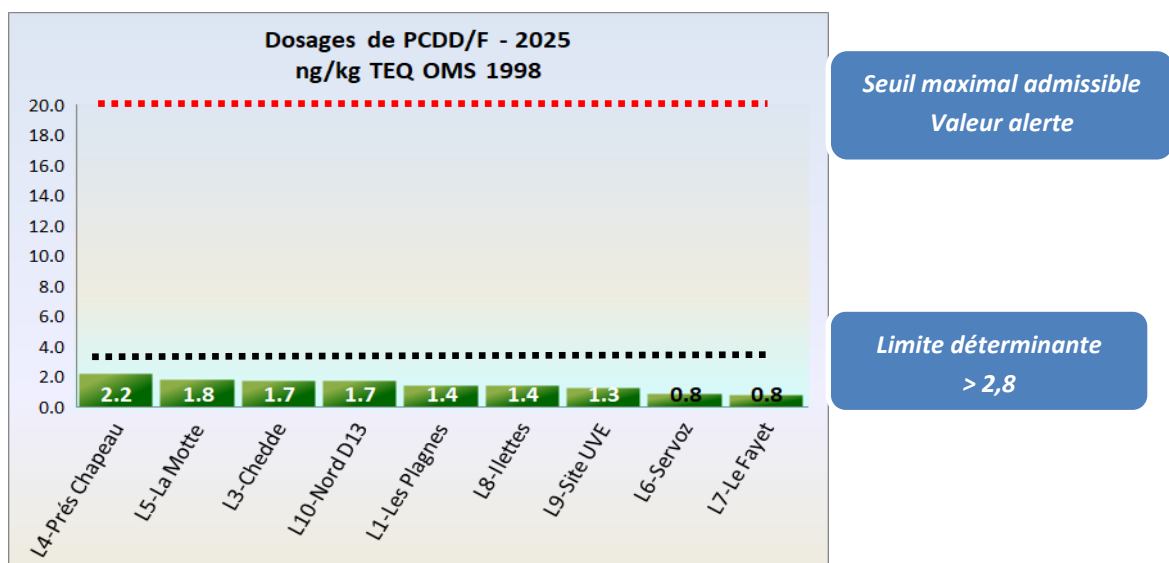
Résultats PCDD/F, ng TEQ/kg – OMS 1998 et OMS 2005.

En bleu : VS (valeur déterminante) – selon la base de données Air Lichens (aucune)

► Tous les résultats sont compatibles avec les valeurs de référence.

N.B : Le seuil alerte de 20 ng/kg TEQ OMS ne correspond pas à une recommandation officielle ou à une norme d'exposition.

Tout dépassement de cette valeur doit cependant entraîner des vérifications, surtout en cas d'élevages laitiers proches.



PCDD/F dans les lichens (ng/kg TEQ OMS 1998), par ordre de répartition et en parallèle des seuils VS, « à surveiller » et « alerte ». Couleurs des colonnes adaptées : En vert : teneurs de base / En bleu : VS (aucune).



Résultats des
PCDD/F dans les
Lichens

ng/kg TEQ OMS
1998

En vert : teneurs
appartenant à la
fourchette des
valeurs repères.

Carte OSM
Rayons 1500m,
3000m

La flèche bleue
pointe vers l'usine.

EVOLUTION

L'évolution est examinée selon la somme des incertitudes. Chaque emplacement est comparé, de même que leur somme, ce qui indique les variations d'ensemble.

Stable : Variation de 0 à 20% si la mesure ne devient pas un BF ou une VS (Bruit de Fond ou Valeur Significative).

H ou B : Hausse ou Baisse = Variations inférieures à 60%

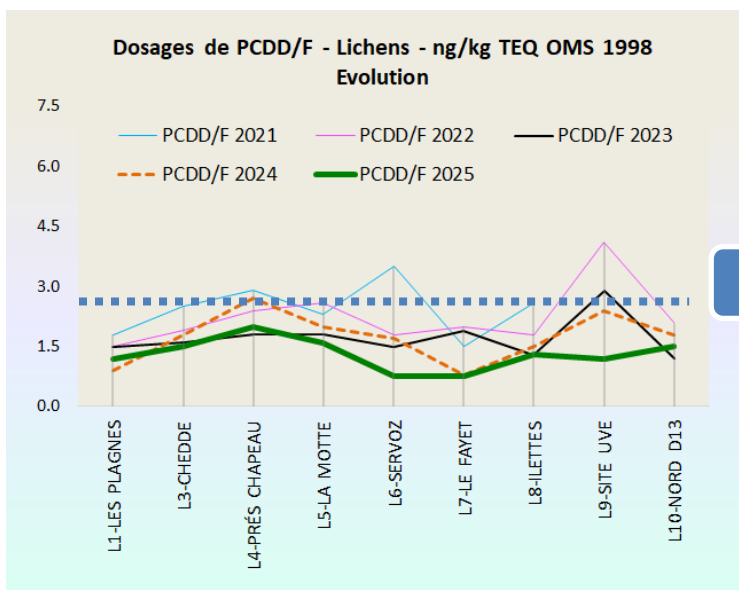
HS ou BS : Hausse ou Baisse Notables = Variations égales ou supérieures à 60% (HS / BS)

Les évolutions sont étudiées sur la base des TEQ OMS 1998.

PCDD/F	2021	2022	2023	2024	2025	2025/2024	Précisions
L1-Les Plagnes	1.8	1.5	1.5	0.9	1.2		Valeurs repères
L3-Chedde	2.5	1.9	1.6	1.8	1.5		Valeurs repères
L4-Prés Chapeau	2.9	2.4	1.8	2.7	2.0		Valeurs repères
L5-La Motte	2.3	2.6	1.8	2.0	1.6		Valeurs repères
L6-Servoz	3.5	1.8	1.5	1.7	0.8		Valeurs repères
L7-Le Fayet	1.5	2.0	1.9	0.8	0.8		Valeurs repères
L8-Ilettes	2.6	1.8	1.3	1.5	1.3		Valeurs repères
L9-Site UVE		4.1	2.9	2.4	1.2		Valeurs repères
L10-Nord D13		2.1	1.2	1.8	1.5		Valeurs repères
Somme L1 à L8	17.1	14.0	11.4	11.4	9.1	0,8	Stabilité dans des valeurs de référence
Somme L1 à L10		20.2	15.5	15.6	11.8	0,8	
VS	> 2,8						
Valeurs repères	0,6 - 2,8						

Mise en parallèle des résultats des campagnes de mesures (ng TEQ/kg OMS 1998)

En bleu : VS (dépassement des valeurs repères) - selon la base de données Air Lichens



2021-2025 : Peu de résultats ont dépassé les valeurs-repères.

Les dernières teneurs signalées pour les emplacements pérennes datent de 2021, sur L4-Prés Chapeau et L6-Servoz.

Limite VS : > 2,8

Lors de son entrée dans le suivi en 2022, puis en 2023, L9-Site UVE avait montré des VS, modérées.

Depuis 2024, sur les neuf points de suivi, les teneurs sont compatibles aux valeurs repères.

Evolution des PCDD/F, ng/kg TEQ OMS 1998 en parallèle du seuil déterminant ou VS (ligne pointillée bleue).

DETAIL PAR CONGENERE

TOXICITE

Parmi les 210 congénères de dioxines et furanes, 17 sont reconnus toxiques. Les dioxines sont des composés lipophiles faiblement éliminés par l'organisme et qui s'accumulent et se stockent en particulier dans le foie et le tissu adipeux (*toxiques cumulatifs*).

La bio-amplification de la dioxine tient à ses propriétés et au fait que toute chaîne alimentaire peut être représentée sous forme d'une pyramide trophique (*représentation approximative*). D'un niveau à l'autre, la biomasse diminue fortement du fait des pertes énergétiques.

Pour un contaminant stable et bio-cumulatif, les concentrations augmentent donc de façon inversement proportionnelle à la diminution de la biomasse, accentuant les teneurs dans les niveaux supérieurs (*animaux prédateurs, humains*) qui seront les plus exposés aux effets toxiques à long terme. En ce qui concerne la nature des congénères, on observe une prédominance des PCDD par rapport aux PCDF.

- De nombreuses études sur la toxicité des PCDD et PCDF mettent en cause le congénère le plus toxique, à savoir le 2, 3, 7,8-TCDD. Les données indiquent que les congénères les plus toxiques comportent au moins quatre atomes de chlore aux positions 2, 3, 7 et 8 et la toxicité des congénères diminue lorsque le nombre d'atomes de chlore croît. Le premier enseignement est que le nombre de molécules toxiques est de 17 sur les 210 possibles.
- Ces 17 congénères n'ont pas tous la même toxicité. Pour traduire ces différences, il a été établi un coefficient de pondération pour chacune des 17 molécules en prenant comme base un coefficient de 1 pour le plus toxique : 2, 3, 7,8-TCDD.

► Le système de coefficients de pondération (*I-TEF = International Toxic Equivalency Factors*) reconnu internationalement est celui développé par l'OTAN : « NATO Committee on Challenge to Modern Society » (NATO/CCMS).

► Pour chacun des congénères pris en compte on estime un coefficient de toxicité (*Toxicity Equivalence factor ou TEF ou I-TEF, équivalent dioxines et furanes*) qui représente une fraction de la toxicité de la molécule de référence, la TCDD évoquée plus haut à laquelle est attribuée la valeur 1 :

$$TEF = \text{toxicité congénère} / \text{toxicité TCDD}$$

► Les TEF sont ensuite intégrés dans un indice global de toxicité, le Toxic Equivalent Quantity (TEQ) d'un milieu contaminé par les HAPH (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques Halogènes), selon la formule suivante : (*TEF_i et C_i sont le TEF et la concentration du congénère i contenu dans le mélange*)

$$TEQ = \sum_i TEF_i \cdot C_i$$

REPARTITION

► Le tableau ci-dessous présente le détail du contenu des échantillons selon les congénères participant au calcul du TEQ OMS 1998, ng/kg.

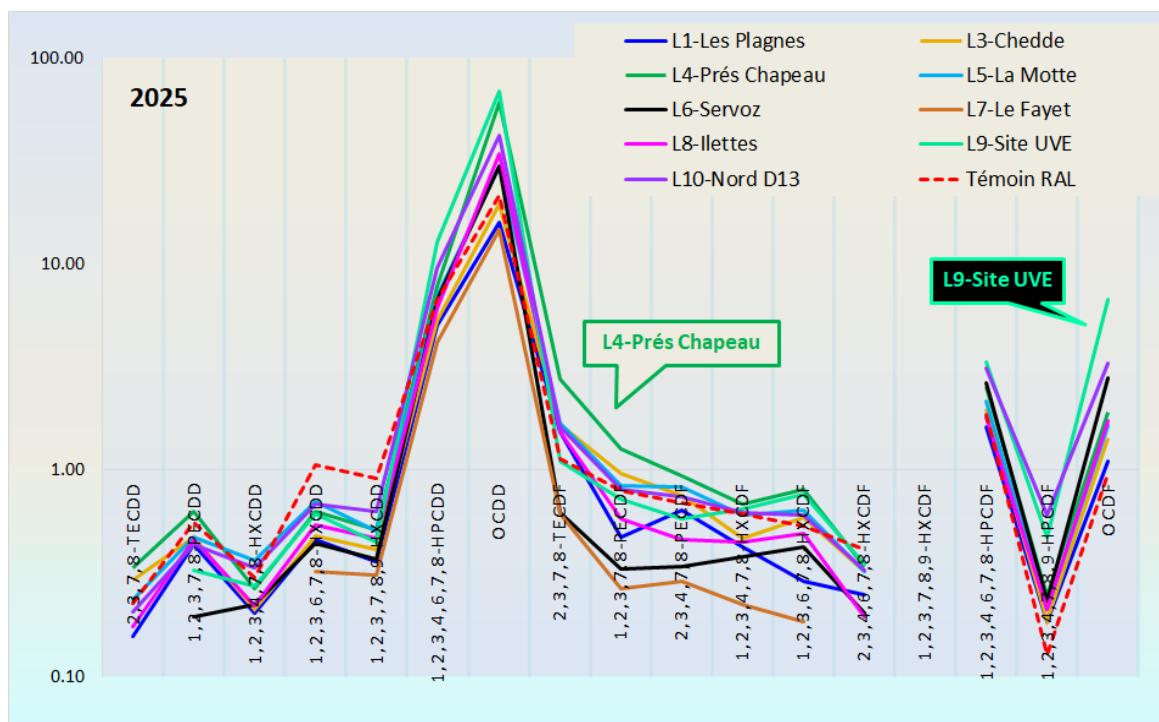
	L1-Les Plagnes	L3-Chedde	L4-Prés Chapeau	L5-La Motte	L6-Servoz	L7-Le Fayet	L8-Ilettes	L9-Site UVE	L10-Nord D13	Témoir Air Lichens
2,3,7,8-TeCDD	0.16	0.30	0.34	0.24	0.00	0.00	0.17	0.00	0.21	0,23
1,2,3,7,8-PeCDD	0.44	0.47	0.63	0.48	0.19	0.34	0.46	0.33	0.43	0,56
1,2,3,4,7,8-HeCDD	0.20	0.21	0.27	0.36	0.22	0.00	0.22	0.27	0.34	0,30
1,2,3,6,7,8-HeCDD	0.46	0.48	0.63	0.70	0.44	0.32	0.54	0.62	0.68	1,07
1,2,3,7,8,9-HeCDD	0.36	0.41	0.51	0.51	0.37	0.31	0.47	0.45	0.63	0,92
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	5.04	5.37	7.86	7.05	6.70	4.20	6.15	12.74	9.59	6,74
OCDD	15.93	19.66	60.95	29.82	29.98	14.64	34.29	69.21	42.35	21,54
2,3,7,8-TeCDF	1.54	1.66	2.76	1.70	0.62	0.61	1.53	1.10	1.61	1,14
1,2,3,7,8-PeCDF	0.47	0.97	1.27	0.84	0.33	0.27	0.58	0.73	0.81	0,79
2,3,4,7,8-PeCDF	0.64	0.75	0.94	0.84	0.34	0.29	0.46	0.58	0.75	0,70
1,2,3,4,7,8-HeCDF	0.42	0.47	0.69	0.61	0.38	0.22	0.45	0.65	0.62	0,61
1,2,3,6,7,8-HeCDF	0.29	0.59	0.81	0.64	0.43	0.18	0.50	0.77	0.60	0,54
2,3,4,6,7,8-HeCDF	0.25	0.32	0.34	0.32	0.20	0.00	0.20	0.35	0.33	0,41
1,2,3,7,8,9-HeCDF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0,00
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	1.62	2.00	2.54	2.18	2.64	0.84	1.82	3.34	3.13	1,86
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.18	0.19	0.25	0.21	0.23	0.00	0.21	0.47	0.61	0,13
OCDF	1.11	1.44	1.92	1.65	2.80	0.79	1.74	6.71	3.32	0,97
TEQ totaux – ng/kg MB	1.4	1.7	2.2	1.8	0.8	0.8	1.4	1.3	1.7	1,80

Résultats des dosages par congénère (ng/kg TEQ OMS 1998) en parallèle avec le témoin Air Lichens

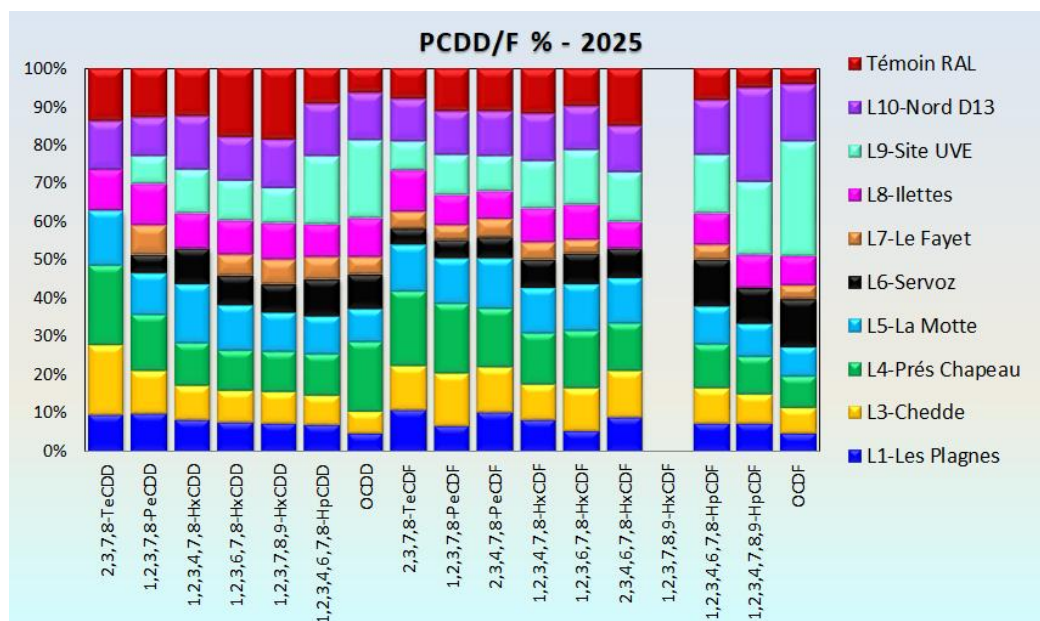
L'analyse de la répartition de congénères figure dans les courbes logarithmiques ci-après.

Cette présentation des résultats est efficace car les histogrammes classiques ne permettent pas de déceler des variations.

Il s'agit d'une recherche d'anomalie ou de signature, selon les procédures d'Air Lichens, seule apte à interpréter ces données.



Répartition des congénères de PCDD/F
Echelle logarithmique ci-dessus et par % ci-dessous



Attention : Remarques dans des résultats appartenant à la fourchette des valeurs repères :

► **L'analyse logarithmique des congénères** montre des profils rappelant des possibilités d'influences complémentaires sans entraîner de dépassement des teneurs de référence.

► **Le graphique de l'analyse par %** corrobore l'interprétation de l'analyse logarithmique.

ANALYSE DES PROFILS (RECHERCHE AAIR LICHENS)

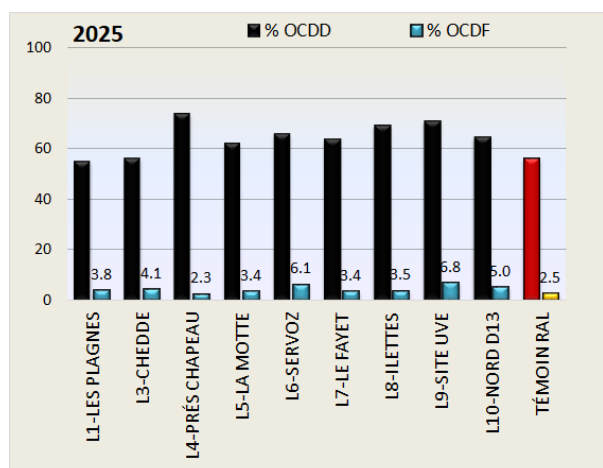
Cette application constitue une avancée dans l'interprétation des données et l'analyse de la répartition des congénères de dioxines et furanes.

L'utilisation de cette méthode de comparaison de la répartition des congénères a pour but d'observer si une signature ou des interférences repérables existent.

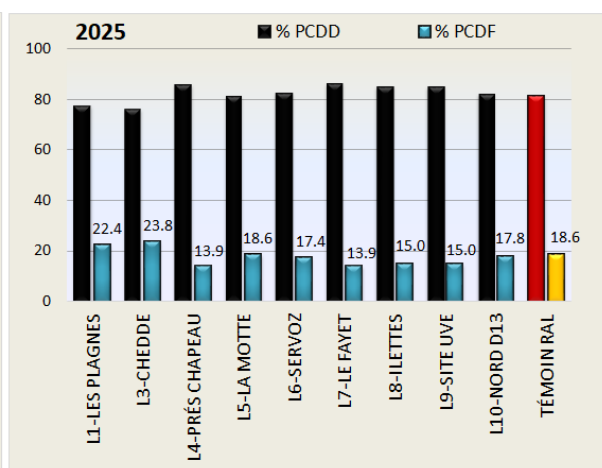
Nous avons choisi dans le cadre de notre recherche de signature d'analyser les deux congénères les plus représentatifs dans leurs pourcentages de répartition :

- ❖ L'octachlorodibenzodioxine ou OCDD
- ❖ L'octachlorodibenzofurane ou OCDF

L'OCDD est le congénère le plus répandu dans l'environnement et le plus persistant, L'OCDF est souvent responsable d'interférences et est par contre plus fugace et labile. C'est la raison d'un faible TEF et signifie que son intérêt ne réside pas dans la toxicité (*il intervient peu dans le calcul de l'Indice de toxicité TEQ*) mais dans la formation d'une signature liée à la source ou à des interférences locales.



Répartition des OCDD et OCDF (%), 2025



Répartition des PCDD et des PCDF (%), 2025.

► La première approche de la recherche de signature, ne considérant que l'OCDD et l'OCDF, ne montre pas de spécificité.

► Parmi les 15 autres congénères de PCDD/F, il est parfois rencontré des anomalies ponctuelles. Une seconde interprétation recourt à l'ensemble des PCDD et des PCDF par rapport à la totalité des congénères.

Ces comparaisons basées sur les familles d'OCDD-OCDF (%) et de PCDD-PCDF (%) ne présentent pas de particularité.

Des éléments sont à considérer :

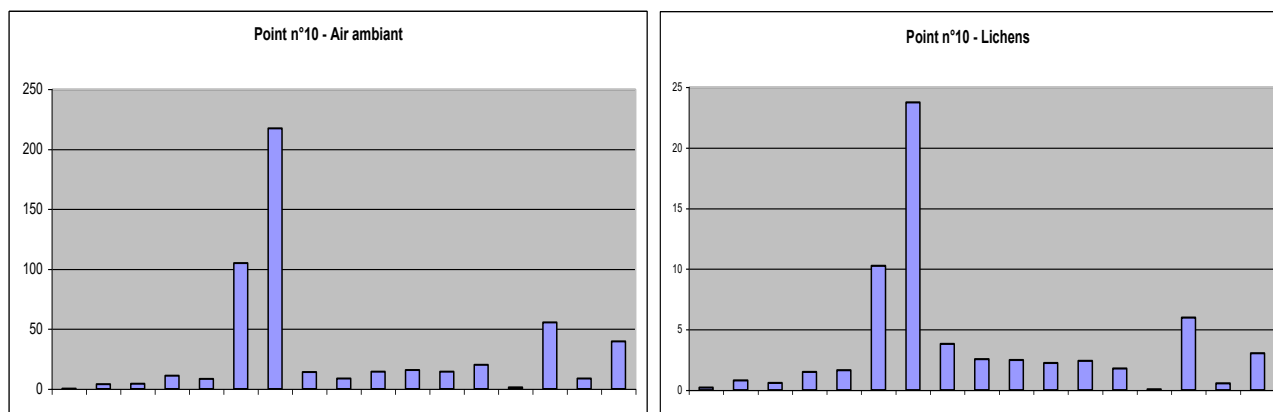
- Une signature doit être reproductible pour être fiable, sinon il s'agit d'interférences. Les signatures d'émission, et les pics d'OCDF, peuvent varier dans le temps. Un travail de recherche de signature ne peut être considéré comme définitif.
- Généralement, plus l'on s'approche des teneurs de fond, moins les signatures sont décelables et elles se diluent dans l'aléatoire des sources ponctuelles constituant les bruits de fond.
- Ceci rappelle les difficultés de définir des signatures d'émission ou des signatures environnementales. Les profils à l'émission sont variables et induisent des variations dans les retombées, sachant que des recombinaisons de congénères sont possibles.

DEMI-VIE DE CERTAINS CONGENERES - INFORMATIF

<i>Substance Chimique</i>	<i>Demi-vie Air (Jours)</i>	<i>TEF OMS 1998</i>
2,3,7,8 TCDD	8,3	1
1,2,3,7,8 PCDD	15	1
1,2,3,4,7,8 HxCDD	31	0,1
1,2,3,6,7,8 HxCDD	31	0,1
1,2,3,7,8,9 HxCDD	31	0,1
1,2,3,4,6,7,8 HpCDD	63	0,01
OCDD	165	0,0001

Malgré de nombreuses incertitudes sur la demi-vie des dioxines, certaines valeurs ont été avancées par Sinkkonen et Paasivirta (2000), reprises par Shatalov et al. (2002) pour modéliser les émissions de dioxines en Europe. Ces données proviennent du rapport INERIS DRC-01-DR029.doc d'août 2005 (fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques).

ANALOGIES AVEC L'AIR AMBIANT



Graphique du profil de répartition des PCDD/F dans l'air ambiant et graphique du profil de répartition des PCDD/F dans les lichens sur le même site (ADEMDIOX, participation Air Lichens, 2000).

La répartition des PCDD/F dans les lichens est identique à celle de l'air ambiant (données acquises dans le programme de recherche ADEMDIOX auquel Air Lichens a participé en 2000).

L'INERIS avait effectué des mesures de PCDD/F dans l'air ambiant avec des préleveurs grands volumes (période de 15 jours). Sur les mêmes emplacements, nous avons effectué des mesures dans les lichens. Il s'agit d'un exemple des profils obtenus.

Les profils de répartition identiques dans l'air et les lichens signifient que toute mesure dans les lichens évalue ce qui transite par l'atmosphère.

Les lichens ne métabolisent pas ces composés et les retiennent, d'où leur adéquation au suivi des retombées atmosphériques.

PCB-DL & PCDD/F + PCB-DL DANS LES LICHENS

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

La significativité (valeurs déterminantes) est établie, basée sur les teneurs en France (ensemble de données « France entière », 12 à 30 départements couverts selon les analyses réalisées sur les quatre dernières années). Adaptation de la norme Expérimentale XP X 43-910.

PCDD/F : VALEURS REPERES : 0,6 – 2,8 ng/kg TEQ OMS
Pour des valeurs déterminantes supérieures à 2,8 ng/kg TEQ OMS

PCB-DL : VALEURS REPERES : 0,2 – 1,3 ng/kg TEQ OMS 2005
Pour des valeurs déterminantes supérieures à 1,3 ng/kg TEQ OMS 2005

PCDD/F + PCB-DL : VALEURS REPERES : 0,86 – 4,1 ng/kg TEQ OMS 2005
Pour des valeurs déterminantes supérieures à 4,1 ng/kg TEQ OMS 2005

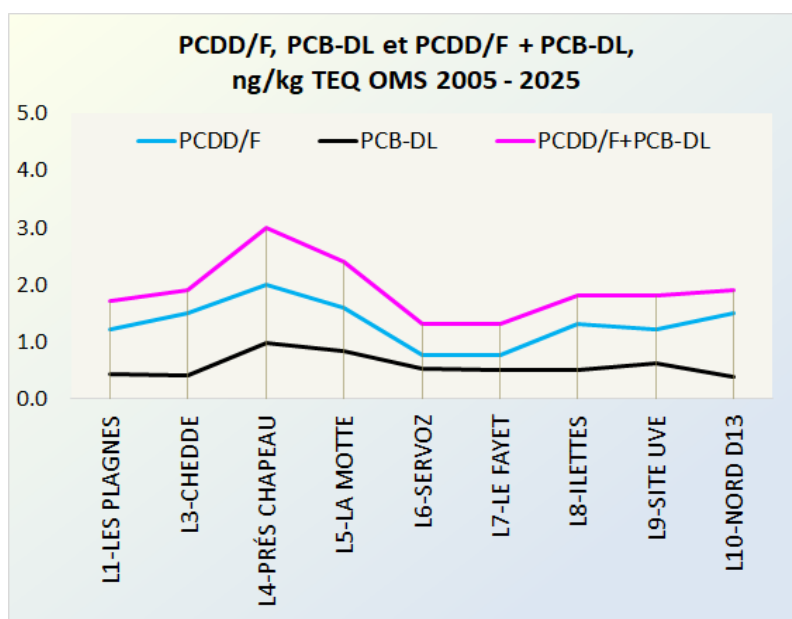
► Le seuil maximal pour les lichens est de 20 ng/kg TEQ OMS pour les PCDD/F seuls.

Lorsqu'il s'agit de la somme PCDD/F + PCB-DL ng/kg TEQ OMS 2005, il s'agit d'un niveau d'alerte car tout dépassement de cette valeur ne peut garantir l'absence d'introduction de ces polluants dans l'alimentation animale et, par extension, dans les laits (Recherches comparatives menées par AAIR LICHENS).

► Loin de ce niveau d'alerte, il s'agit aussi de définir des niveaux de retombées significatives ou déterminantes pour les lichens.

Emplacements	PCDD/F ng/kg	PCB-DL ng/kg	PCDD/F + PCB-DL ng/kg
L1-Les Plagnes	1.2	0.4	1.7
L3-Chedde	1.5	0.4	1.9
L4-Prés Chapeau	2.0	1.0	3.0
L5-La Motte	1.6	0.8	2.4
L6-Servoz	0.8	0.5	1.3
L7-Le Fayet	0.8	0.5	1.3
L8-Ilettes	1.3	0.5	1.8
L9-Site UVE	1.2	0.6	1.8
L10-Nord D13	1.5	0.4	1.9
Valeurs repères	0,6 - 2,8	0,2 - 1,3	0,86 - 4,1
Significatif (VS) / Déterminant	> 2,8	> 1,3	> 4,1

Résultats des dosages dans les lichens, ng/kg TEQ OMS 2005
 En bleu : VS (valeur déterminantes) – base de données Air Lichens - Aucune

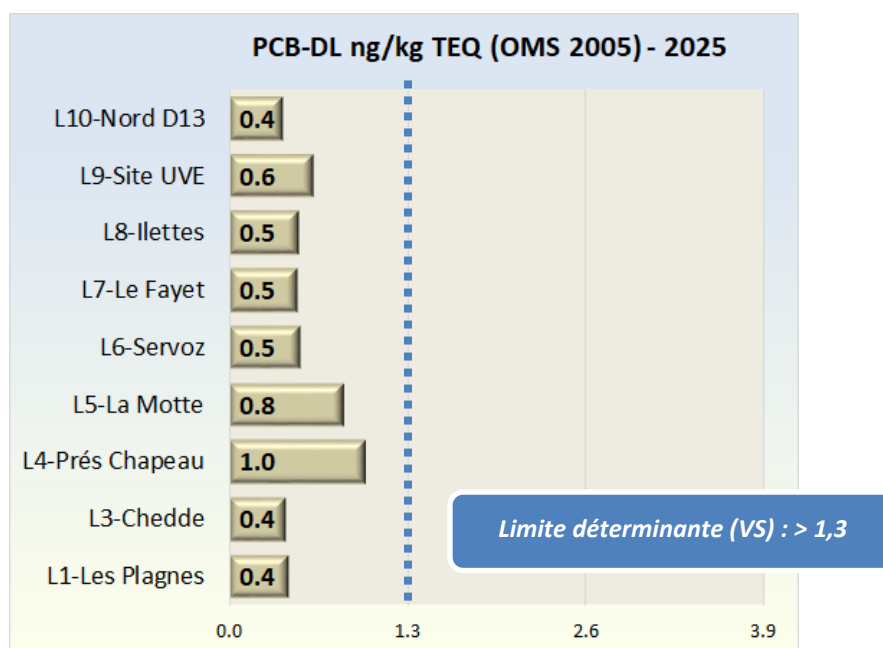


Résultats des dosages dans les lichens, ng/kg TEQ OMS 2005

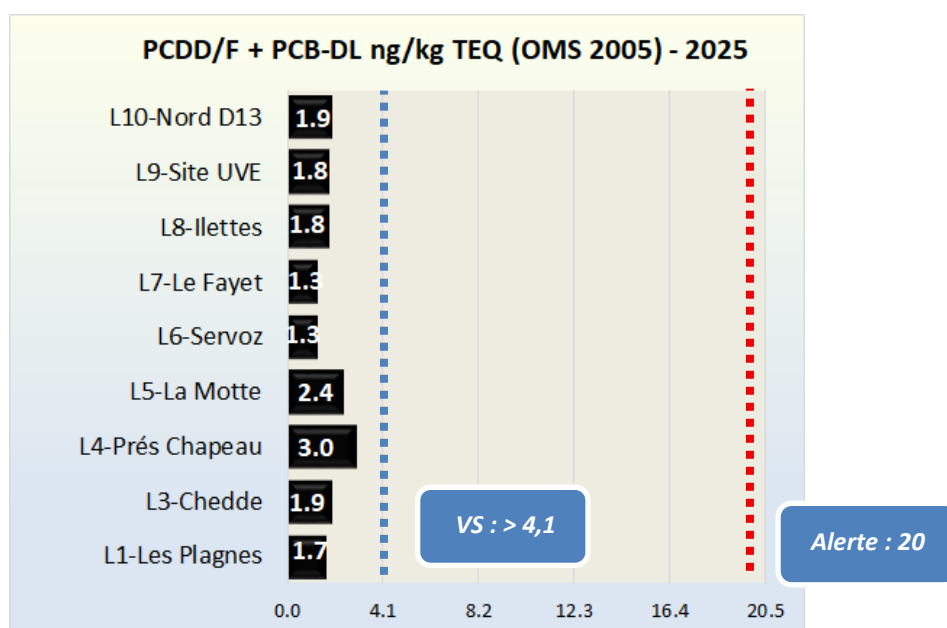
► OMS 2005 => Tous les emplacements appartiennent aux valeurs de référence que ce soit en PCDD/F, PCB-DL ou PCDD/F + PCB-DL.

Attention : Remarques dans des résultats appartenant à la fourchette des valeurs repères :

► Les PCDD/F seraient plus discriminants dans la somme PCDD/F + PCB-DL.



Résultats des PCB-DL dans les lichens (ng/kg TEQ OMS 2005)



Résultats des PCDD/F + PCB-DL dans les lichens (ng/kg TEQ OMS 2005)

► **PCB-DL, PCDD/F + PCB-DL** : aucun emplacement n'est déterminé c'est-à-dire qu'ils appartiennent tous à la fourchette des valeurs de référence sans les dépasser.





Résultats des
PCDD/F + PCB-
DL dans les
Lichens

ng/kg TEQ OMS
2005

En vert : teneurs
appartenant à la
fourchette des
valeurs repères de
la base de
données Aair
Lichens et n'en
dépassant pas.

Carte OSM
Rayons 1500m,
3000m

La flèche bleue
pointe vers l'usine.

REPARTITION DES PCB-DL

PCB-Dioxin-Like	PCB77	PCB81	PCB105	PCB114	PCB118	PCB123	PCB126	PCB156	PCB157	PCB167	PCB169	PCB189	TOTAUX	Total PCB-DL ng/kg MB OMS 2005
L1-Les Plagnes	26.05	1.43	108.61	4.87	266.84	3.76	3.77	29.52	6.77	17.96	0.00	3.25	472.8	0.43
L3-Chedde	16.56	0.00	86.90	3.73	208.40	3.04	3.64	32.15	6.58	15.96	0.00	3.75	380.7	0.41
L4-Près Chapeau	31.89	0.00	139.59	6.00	358.53	4.55	9.19	63.13	12.52	36.79	0.00	8.38	670.6	0.98
L5-La Motte	39.84	1.24	197.30	7.17	411.10	8.87	7.63	53.16	13.66	33.68	0.00	6.15	779.8	0.83
L6-Servoz	25.31	0.00	113.41	4.87	310.50	4.40	4.58	45.33	8.88	27.16	0.00	6.87	551.3	0.51
L7-Le Fayet	34.33	3.16	150.46	5.44	346.64	5.79	4.34	33.68	8.35	20.67	0.00	4.50	617.4	0.49
L8-Ilettes	19.46	0.00	95.07	4.01	233.51	3.63	4.52	43.44	8.75	26.11	0.00	7.36	445.9	0.50
L9-Site UVE	17.69	0.00	104.57	3.70	284.02	3.55	5.55	64.55	12.20	36.70	0.00	9.30	541.8	0.61
L10-Nord D13	20.64	0.00	100.48	3.65	254.71	2.95	3.41	35.36	7.94	18.19	0.00	5.44	452.8	0.39
TOTAUX	231.8	5.8	1096.4	43.5	2674.3	40.5	46.6	400.3	85.6	233.2	0.0	55.0	4913.1	
Témoïn RAL	13.4	0.0	75.6	1.9	156.3	2.0	2.3	18.3	4.4	4.6	0.0	2.1	281	
TEF OMS 2005	0.00010	0.00030	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.10000	0.00003	0.00003	0.00003	0.03000	0.00003		

Répartition des PCB-DL selon les emplacements

En jaune : valeur la plus forte de l'homologue, en rose : la deuxième valeur la plus élevée.

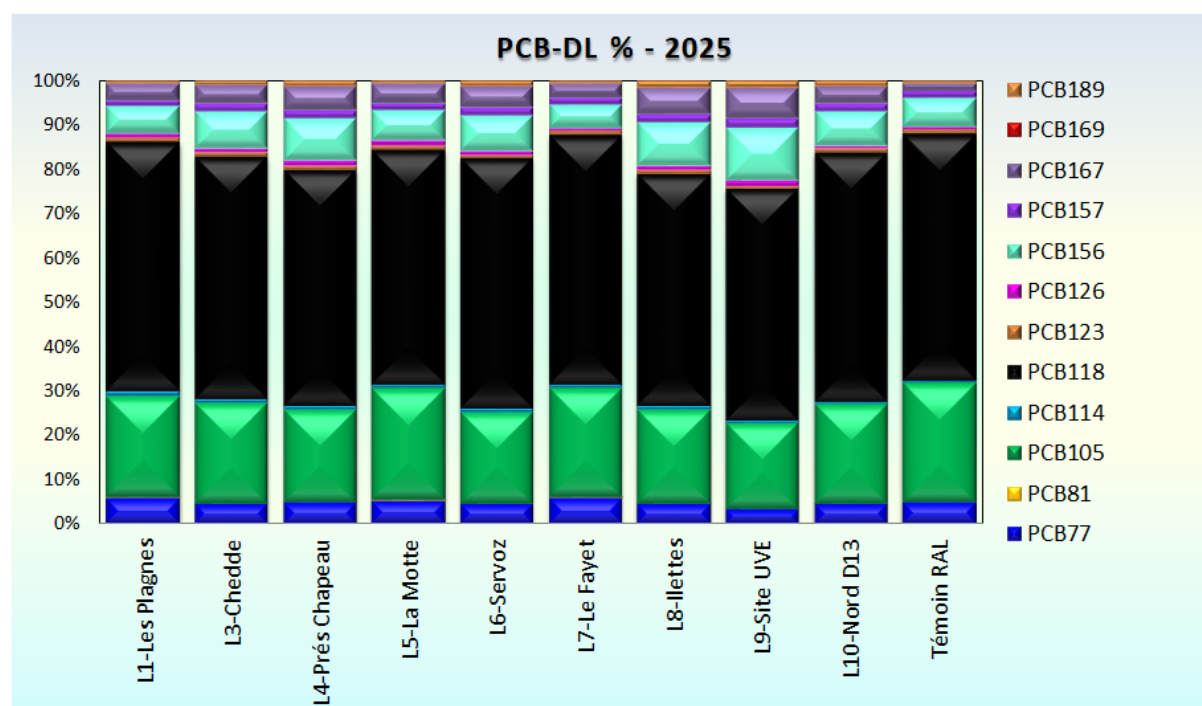
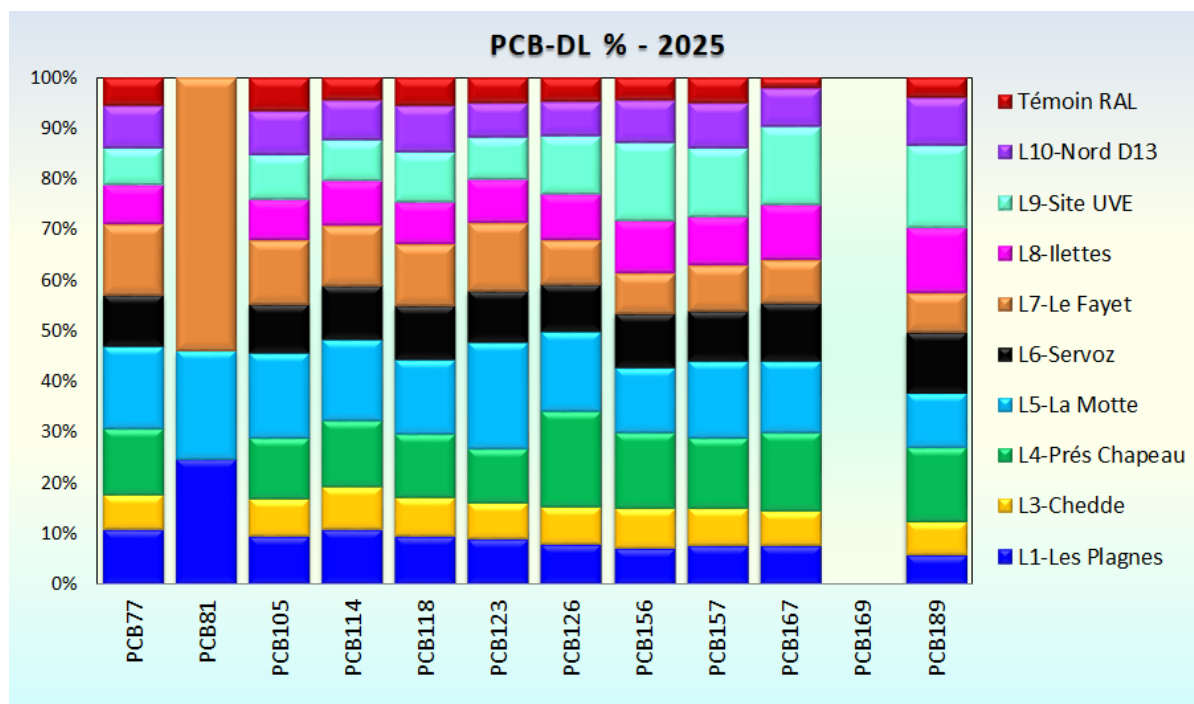
Attention : Remarques dans des résultats appartenant à la fourchette des valeurs repères :

► La répartition par homologue est classique (PCB118, PCB105, PCB156).

► Les premières valeurs sont partagées entre L5-La Motte, L4-Près Chapeau, L9-Site UVE et L7-Le Fayet. L9-Site UVE est moins remarqué que d'autres points de suivi.

Avec les secondes valeurs, L1-Les Plagnes apparaît.

Ceci montre des possibilités d'origines variées.



Répartition des PCB-DL selon les emplacements et les homologues, % - 2 graphiques

Attention : Remarques dans des résultats appartenant à la fourchette des valeurs repères :

► Comme en 2024, certains homologues sont moins représentés comme le PCB81 voire pas du tout comme le PCB169. Le profil général reste néanmoins très similaire sur tous les emplacements y compris le témoin type Air Lichens (deuxième graphique ci-dessus).

EVOLUTION

L'évolution est examinée selon la somme des incertitudes. Chaque emplacement est comparé, de même que leur somme, ce qui indique les variations d'ensemble.

Stable : Variation de 0 à 20% si la mesure ne devient pas un BF ou une VS (Bruit de Fond ou Valeur Significative).

H ou B : Hausse ou Baisse = Variations inférieures à 60%

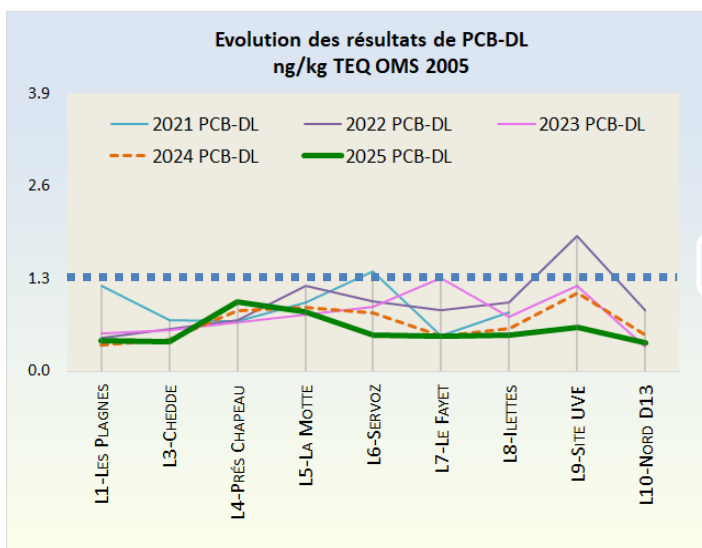
HS ou BS : Hausse ou Baisse Notables = Variations égales ou supérieures à 60% (HS / BS)

EVOLUTION DES PCB-DL

PCB-DL	2021	2022	2023	2024	2025	2025/2024	Précisions
L1-Les Plagnes	1.2	0.5	0.5	0.4	0.4		Valeurs repères
L3-Chedde	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4		Valeurs repères
L4-Prés Chapeau	0.7	0.7	0.7	0.9	1.0		Valeurs repères
L5-La Motte	1.0	1.2	0.8	0.9	0.8		Valeurs repères
L6-Servoz	1.4	1.0	0.9	0.8	0.5		Valeurs repères
L7-Le Fayet	0.5	0.9	1.3	0.5	0.5		Valeurs repères
L8-Ilettes	0.8	1.0	0.8	0.6	0.5		Valeurs repères
L9-Site UVE		1.9	1.2	1.1	0.6		Valeurs repères
L10-Nord D13		0.9	0.4	0.5	0.4		Valeurs repères
Somme L1 à L8	6.3	5.8	5.6	4.5	4.2	0.9	Stabilité dans des valeurs de référence
Somme L1 à L10		8.5	7.1	6.1	5.2	0.8	
VS	> 1,3						
Valeurs repères	0,2 - 1,3						

Mise en parallèle des résultats des campagnes de mesures (ng TEQ/kg OMS 2005)

En bleu : valeurs déterminantes ou VS – selon la base de données Air Lichens



2021-2025 :

En 2025, 2024 ou 2023, aucun résultat n'est déterminant.

VS : > 1,3

Les derniers taux dépassant la fourchette des valeurs-repères datent de 2022 pour l'ensemble des 9, sur L9-Site UVE, et de 2021 sur L6-Servoz pour les 7 emplacements pérennes. Seuls ces deux emplacements ont été notés au moyen terme.

Evolution des PCB-DL, ng/kg TEQ OMS 2005 en parallèle du seuil VS déterminant des dépassements éventuels.

EVOLUTION DES PCDD/F + PCB-DL

PCDD/F + PCB-DL	2021	2022	2023	2024	2025	2025/2024	Précisions
L1-Les Plagnes	2.8	1.8	1.8	1.2	1.7		Valeurs repères
L3-Chedde	2.9	2.4	2.0	2.0	1.9		Valeurs repères
L4-Prés Chapeau	3.3	2.9	2.3	3.3	3.0		Valeurs repères
L5-La Motte	3.0	3.6	2.4	2.7	2.4		Valeurs repères
L6-Servoz	4.6	2.7	2.3	2.4	1.3		Valeurs repères
L7-Le Fayet	1.9	2.6	3.1	1.2	1.3		Valeurs repères
L8-Ilettes	3.1	2.6	2.0	1.9	1.8		Valeurs repères
L9-Site UVE		5.7	3.8	3.2	1.8		Valeurs repères
L10-Nord D13		2.8	1.5	2.2	1.9		Valeurs repères
Somme L1 à L8	21.6	18.6	15.9	14.7	13.4	0.9	Stabilité dans des valeurs de référence
Somme L1 à L10		27.1	21.2	20.1	17.1	0.9	
VS	> 4,1						
Valeurs repères	0,86 – 4,1						

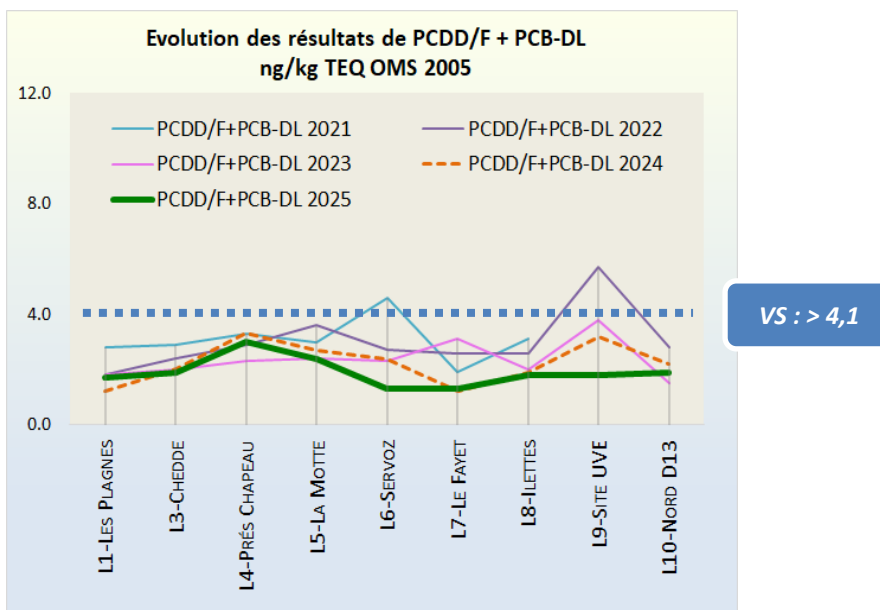
Mise en parallèle des résultats des campagnes de mesures (ng TEQ/kg OMS 2005)

En bleu : valeurs déterminantes ou VS – selon la base de données Air Lichens

2021-2025 : les interprétations sont équivalentes à celle des PCB-DL à la page précédente.

Au moyen terme, très peu de teneurs ont dépassé la fourchette des valeurs-repères et aucun taux n'est signalé depuis 2023 parmi les 9 emplacements dosés.

Au regard de la somme depuis 2022, année où deux nouveaux points sont entrés dans le suivi, la courbe d'inclination précise une décroissance dans des valeurs faibles (voir le Résumé Visuel ou les Fichiers d'Exploitation en annexes).



Evolution des PCDD/F + PCB-DL, ng/kg TEQ OMS 2005 en parallèle du seuil VS déterminant des dépassements éventuels.

RESULTATS ETM

ETM DANS LES LICHENS

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

► Les métaux suivants ont été dosés dans les lichens :

- Plomb (Pb),
- Mercure (Hg),
- Chrome (Cr),
- Arsenic (As),
- Nickel (Ni),
- Vanadium (V),
- Zinc (Zn).
- Cadmium (Cd),
- Manganèse (Mn),
- Cuivre (Cu),
- Antimoine (Sb),
- Thallium (Tl),
- Cobalt (Co),

► L'interprétation des résultats est effectuée selon la base de données Air Lichens adaptée de la norme Expérimentale XP X 43-910.

Bruits de fond (BFBF) et Limites de significativité (VSBD) sont précisés dans les lignes inférieures des tableaux.

Selon la base de données Air Lichens :

En bleu : Valeur significative (VS) = limite au-dessus de laquelle des retombées sont affirmables

En orange : Valeur à surveiller

En rouge : Valeur alerte

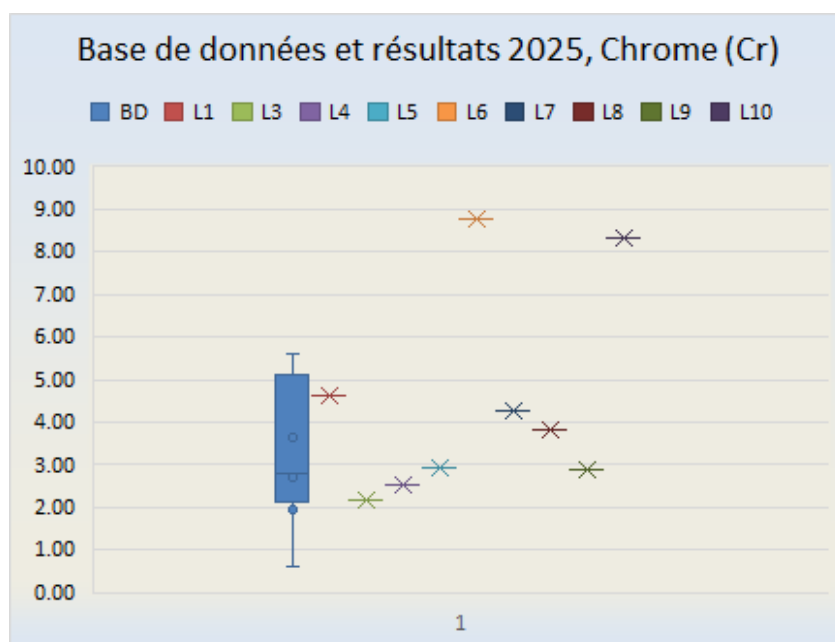
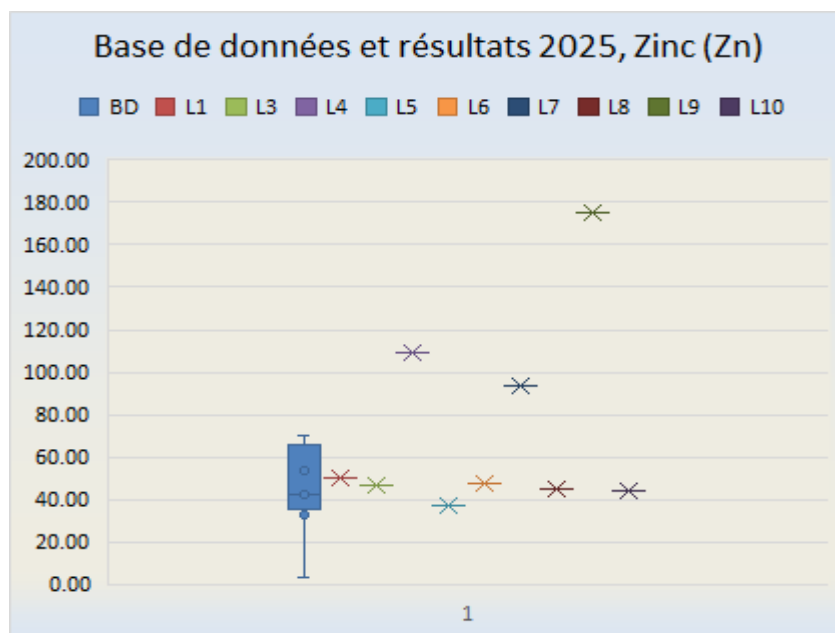
Emplacements	Ni	Cr	Cu	As	Cd	Pb	Sb
L1-Les Plagnes	2.4	4.6	7.2	0.7	0.05	2.3	0.19
L3-Chedde	1.4	2.2	6.6	0.6	0.10	3.1	0.35
L4-Près Chapeau	2.3	2.6	8.3	0.8	0.34	3.9	0.38
L5-La Motte	1.6	2.9	7.6	0.6	0.09	6.4	0.33
L6-Servoz	6.8	8.8	8.0	1.2	0.10	2.5	0.25
L7-Le Fayet	2.9	4.3	8.8	0.7	0.07	2.6	0.20
L8-Ilettes	2.7	3.8	9.6	1.8	0.10	2.5	0.30
L9-Site UVE	2.8	2.9	10.5	0.7	0.34	6.9	0.63
L10-Nord D13	5.0	8.3	11.2	1.0	0.10	7.0	0.55
Valeurs repères	0,40-4,94	0,60-5,59	2,32-12,02	0,14-2,04	0,05-0,30	0,60-12,03	0,09-0,70
VS BD	> 4,9	> 5,6	> 12,0	> 2,0	> 0,30	> 12,0	> 0,70

Résultats des dosages de métaux Ni, Cr, Cu, As, Cd, Pb, Sb dans les lichens (mg/kg)

Emplacements	V	Co	Mn	Hg	Tl	Zn	Charge totale
L1-Les Plagnes	2.0	0.42	40	0.046	< L.q	50	110.08
L3-Chedde	2.0	0.30	25	< L.q	< L.q	47	88.18
L4-Près Chapeau	2.2	0.58	36	0.048	< L.q	110	166.75
L5-La Motte	2.2	0.28	21	0.095	< L.q	37	80.66
L6-Servoz	3.7	0.80	42	0.050	< L.q	48	122.09
L7-Le Fayet	2.3	0.47	32	< L.q	< L.q	94	147.95
L8-Ilettes	3.8	0.70	49	0.050	< L.q	45	120.04
L9-Site UVE	1.9	0.53	26	0.048	< L.q	175	228.45
L10-Nord D13	4.0	0.65	40	0.100	< L.q	44	121.97
Valeurs repères	0,34-5,6	0,23-1,10	3,51-170	0,046-0,203	0,0	3,03-70,45	
VS BD	> 5,6	> 1,10	> 170	> 0,20	> 0 / > L.q	> 70	

Résultats des dosages de métaux V, Co, Mn, Hg, Tl et Zn dans les lichens (mg/kg)

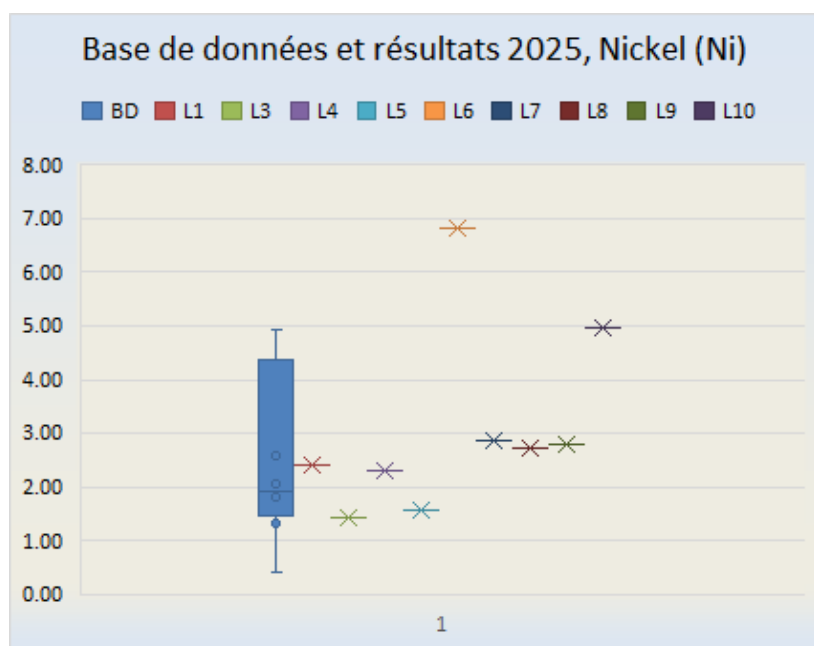
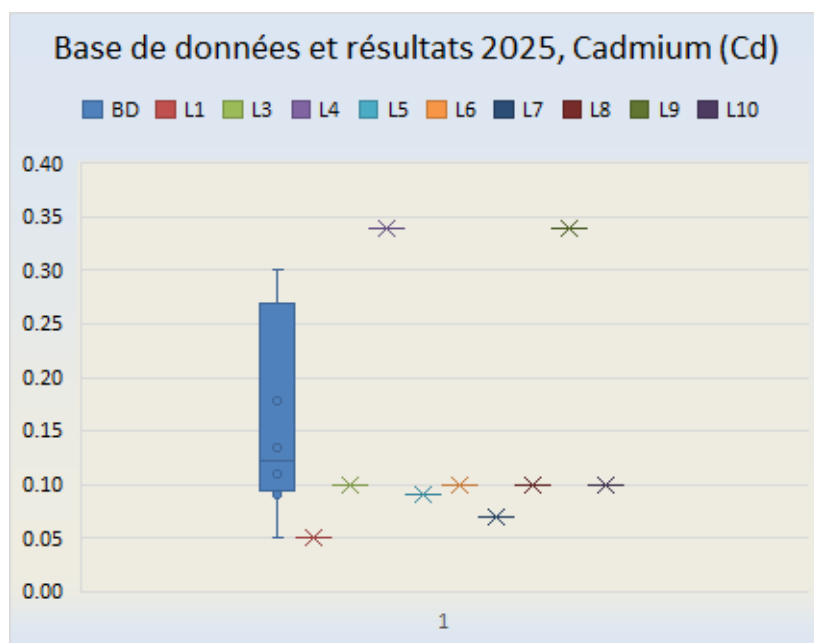
- L9-Site UVE reste le plus chargé en masse métallique. Il est suivi de L4-Près Chapeau.
- 4 ETM dépassent les valeurs repères : Ni, Cr, Cd, Zn sur deux à trois emplacements chacun.
- L9-Site UVE et L4-Près Chapeau : Cd et Zn. L6-Servoz et L10-Nord D13 : Ni et Cr. L7-Le Fayet : Zn
- Les autres ETM y compris le Cu généralement affirmé ou le Sb, appartiennent tous à la fourchette des valeurs repères en 2025.



Résultats 2025 des ETM dépassant les valeurs repères (significatifs) avec la base de données Air Lichens, adaptation de la norme expérimentale XP X 43-910 de Juin 2020 (mg/kg) – graphiques boîte à moustaches. Zn, Cr.

Zn : dépassement des valeurs repères pour L9-Site UVE, L4-Prés Chapeau et L7-Le Fayet. L9-Site UVE est davantage remarqué que les autres.

Cr : L6-Servoz et L10-Nord D13 sont déterminés.



Résultats 2025 des ETM dépassant les valeurs repères (significatifs) avec la base de données Air Lichens, adaptation de la norme expérimentale XP X 43-910 de Juin 2020 (mg/kg) – graphiques boîte à moustaches. Cd, Ni.

Cd : L4-Prés Chapeau et L9-Site UVE dépassent légèrement les valeurs repères. Ils offrent la même teneur.

Ni : L6-Servoz et L10-Nord D13 sont déterminés. L10 dépasse très faiblement et L6-Servoz est davantage repéré.



En vert : teneurs appartenant à la fourchette des valeurs repères de la base de données Aair Lichens et n'en dépassant pas (RAS)

En bleu : ETM et Emplacements dépassant la fourchette des valeurs-repères.

Carte OSM
Rayons 1500m,
3000m

*La flèche bleue
pointe vers l'usine.*

EVOLUTION

Avant de rattacher une retombée métallique à une source, il faut disposer de plusieurs éléments :

- 1) Le métal est retrouvé sur au moins deux surveillances consécutives (présence régulière),
- 2) Il concerne si possible deux points situés sous le panache ou contigus.
- 3) Ce dernier paramètre est moins constaté avec la décroissance des retombées métalliques.
- 4) L'évolution et la comparaison des données annuelles informent sur le long terme.

L'évolution est examinée selon la somme des incertitudes. Chaque emplacement est comparé, de même que leur somme, ce qui indique les variations d'ensemble.

Stable : Variation de 0 à 20% si la mesure ne devient pas un BF ou une VS (Bruit de Fond ou Valeur Significative).

H ou B : Hausse ou Baisse = Variations inférieures à 60%

HS ou BS : Hausse ou Baisse Notables = Variations supérieures à 60% (HS / BS)

< L.q = Inférieur à la limite de quantification

BFBD : Bruit de Fond selon la Base de Données Air Lichens.

VSBD : Valeur Significative selon la Base de Données : limite au-dessus de laquelle des retombées sont affirmables

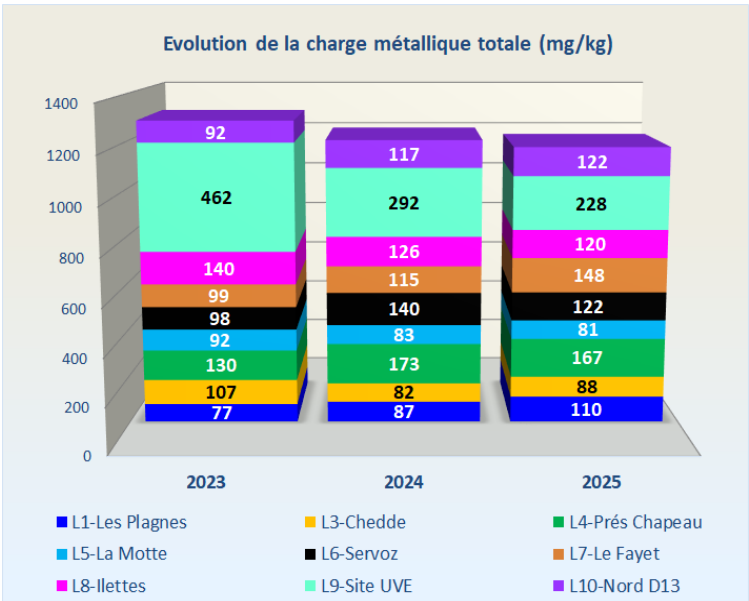
Dans les rapports d'étude :

- 1) Les analyses d'évolution par métal sont pratiquées lorsque des retombées sont décelées.
- 2) Les variations des valeurs appartenant à des teneurs de fond ne donnent lieu à aucun commentaire. En effet, la surveillance environnementale annuelle n'a pas pour objectif d'analyser les variations ponctuelles de teneurs de fond. Il est nécessaire de rester dans l'objet du suivi.
- 3) Dans les tableaux d'évolution, certains métaux présentent des différences avec une présentation au mg, ou au mg/10 ou au mg/100. Les expressions de résultats se sont affinées au cours de l'optimisation et de l'amélioration des techniques de laboratoire.
- 4) Il n'est pas utile, par exemple, d'exprimer le manganèse en mg/10 car les valeurs sont plus élevées que pour le cadmium, dont la toxicité nécessite la précision au centième de mg.

Evolution de la charge métallique totale

	2023	2024	2025	2025/2024	Evolution
L1-Les Plagnes	77	87	110	1.3	Hausse +30%
L3-Chedde	107	82	88	1.1	Stable
L4-Prés Chapeau	130	173	167	1.0	Stable
L5-La Motte	92	83	81	1.0	Stable
L6-Servoz	98	140	122	0.9	Stable
L7-Le Fayet	99	115	148	1.3	Hausse +30%
L8-Ilettes	140	126	120	1.0	Stable
L9-Site UVE	462	292	228	0.8	Stable
L10-Nord D13	92	117	122	1.0	Stable
Somme	1297	1216	1186	1.0	Stable

Evolution de la charge métallique (mg/kg) – Tableau et graphique



► La **charge métallique totale** est stable sur les trois dernières campagnes.

L9-Site UVE est davantage noté puis L4-Prés Chapeau, depuis 2024.

Deux variations individuelles apparaissent avec une hausse de 30% sur L1-Les Plagnes et L7-Le Fayet.

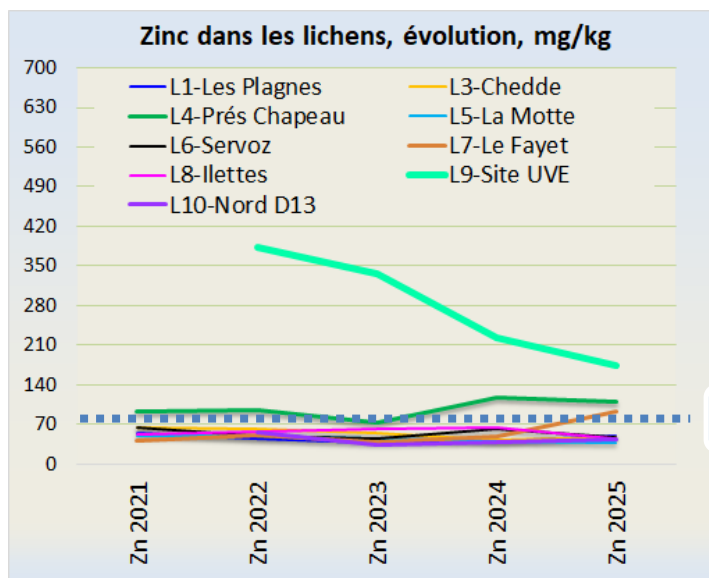
L'analyse de l'évolution s'intéresse aux 4 ETM retrouvés déterminants (VS) en 2025 : Zn, Cr, Cd, Ni.

Les deux autres ETM qui avaient dépassé les valeurs de référence en 2024 sont rappelés en synthèse et sont consultables dans les Fichiers d'Exploitation en annexes de ce rapport (Cu, Sb).

Evolution du Zinc

ZINC	2021	2022	2023	2024	2025	2025/2024	Précisions
L1-Les Plagnes	55	45	37	41	50		Valeurs repères
L3-Chedde	64	63	54	43	47		Valeurs repères
L4-Prés Chapeau	94	96	74	117	110	0.9	Stable
L5-La Motte	49	49	45	41	37		Valeurs repères
L6-Servoz	64	49	44	61	48		Valeurs repères
L7-Le Fayet	40	51	38	49	94	1.9	HS
L8-Ilettes	51	57	61	64	45		Valeurs repères
L9-Site UVE		383	335	222	175	0.8	Stable
L10-Nord D13		56	34	40	44		Valeurs repères
TOTAUX L1 à L8	417.3	411.1	353.8	416.7	430.5	1.0	Stable
TOTAUX L1 à L10		849.8	722.9	679.0	649.2	1.0	
VS BD	> 70						
Valeurs repères	3,03-70,45						
A surveiller	500						

Evolution pour le zinc (mg/kg)



Le zinc, évolution (mg/kg)

En bleu pointillé : VS

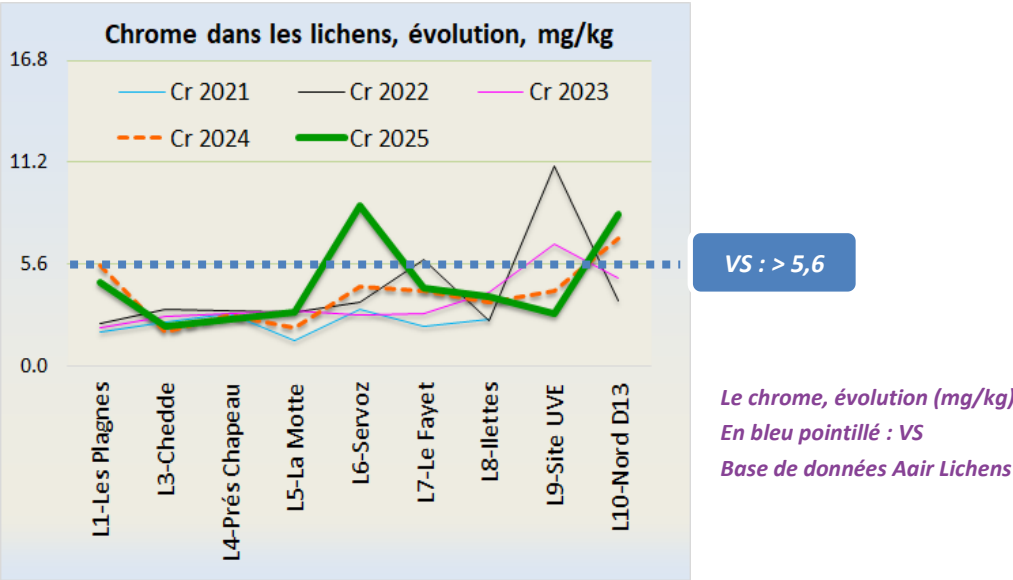
Base de données Air Lichens

► Le **zinc** montre annuellement des dépassements sur L4-Prés Chapeau qui confirme son augmentation de 2024. Depuis son entrée dans le suivi, L9-Site UVE détermine du Zn. Néanmoins, il confirme des décroissances graduelles. Alors que seuls ces deux emplacements étaient concernés, en 2025, L7-Le Fayet aussi dépasse les valeurs-repères.

Evolution du Chrome

CHROME	2021	2022	2023	2024	2025	2025/2024	Précisions
L1-Les Plagnes	1.9	2.4	2.1	5.5	4.6		Valeurs repères
L3-Chedde	2.4	3.1	2.7	1.9	2.2		Valeurs repères
L4-Prés Chapeau	2.8	3.0	2.9	2.8	2.6		Valeurs repères
L5-La Motte	1.4	3.0	3.1	2.1	2.9		Valeurs repères
L6-Servoz	3.1	3.5	2.8	4.4	8.8	2.0	HS
L7-Le Fayet	2.2	5.8	2.9	4.1	4.3		Valeurs repères
L8-Ilettes	2.6	2.5	4.1	3.5	3.8		Valeurs repères
L9-Site UVE		11.0	6.7	4.2	2.9		Valeurs repères
L10-Nord D13		3.6	4.8	7.0	8.3	1.2	Stable
TOTAUX L1 à L8	16.3	23.3	20.5	24.2	29.1	1.2	Stable
TOTAUX L1 à L10		37.8	32.0	35.3	40.3	1.1	
VS BD	> 5,6						
Valeurs repères	0,60-5,59						

Evolution pour le chrome (mg/kg)



► Le **chrome** est à relier au contexte industriel et aux activités strictement locales comme en 2022 sur L7-Le Fayet ou en 2025 sur L6-Servoz.

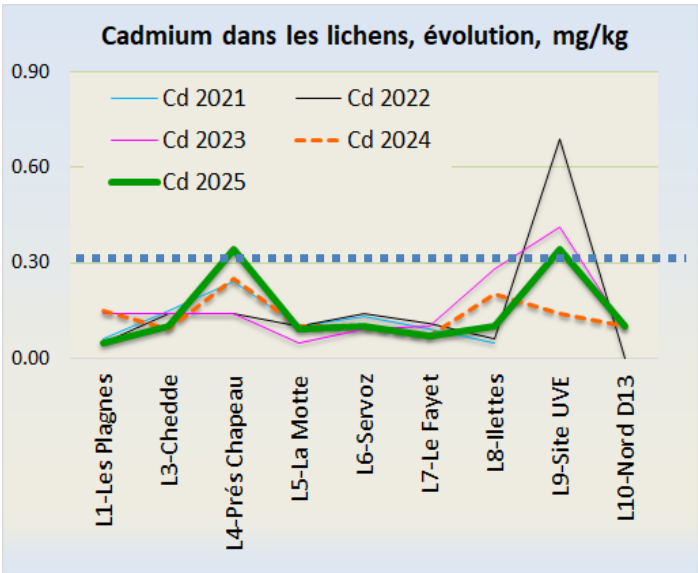
L10-Nord D13 confirme son dépassement de 2024.

Il n'est plus remarqué sur L9-Site UVE depuis 2024.

Evolution du Cadmium

CADMIUM	2021	2022	2023	2024	2025	2025/2024	Précisions
L1-Les Plagnes	0.06	0.05	0.14	0.15	0.05		Valeurs repères
L3-Chedde	0.15	0.14	0.14	0.09	0.10		Valeurs repères
L4-Prés Chapeau	0.24	0.14	0.14	0.25	0.34	1.4	Hausse +40%
L5-La Motte	0.10	0.10	0.05	0.10	0.09		Valeurs repères
L6-Servoz	0.13	0.14	0.09	0.10	0.10		Valeurs repères
L7-Le Fayet	0.09	0.11	0.10	0.07	0.07		Valeurs repères
L8-Ilettes	0.05	0.06	0.28	0.20	0.10		Valeurs repères
L9-Site UVE		0.69	0.41	0.14	0.34	2.4	HS
L10-Nord D13		< L.q	0.09	0.10	0.10		Valeurs repères
TOTAUX L1 à L8	0.8	0.7	0.9	1.0	0.9	0.9	Stable
TOTAUX L1 à L10		1.4	1.4	1.2	1.3	1.1	
VS BD	> 0,30						
Valeurs repères	0,05-0,30						
A surveiller	0,70						

Evolution pour le cadmium (mg/kg)



VS : > 0,30

Le cadmium, évolution (mg/kg)
En bleu pointillé : VS
Base de données Air Lichens

► Le cadmium n'était pas signalé en 2024. En 2025, L9-Site UVE montre de nouveau un dépassement.

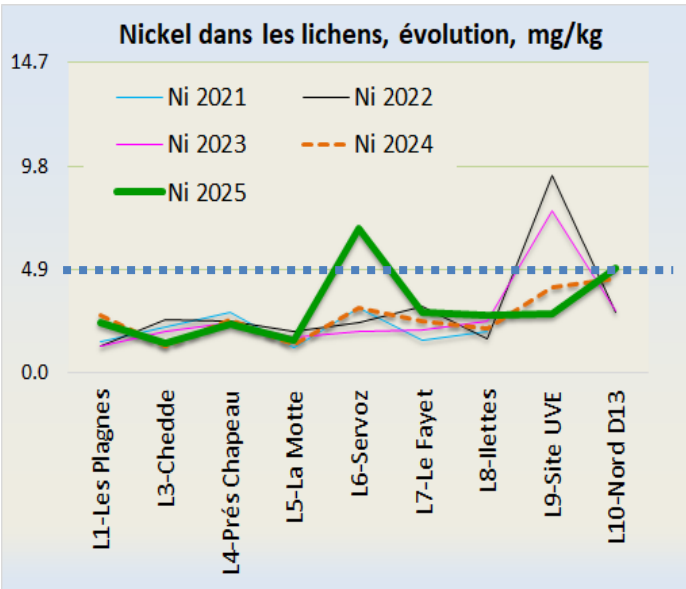
Il est accompagné de L4-Prés Chapeau.

Ces deux résultats restent modérément remarqués et offrent la même valeur.

Evolution du Nickel

NICKEL	2021	2022	2023	2024	2025	2025/2024	Précisions
L1-Les Plagnes	1.5	1.3	1.3	2.7	2.4		Valeurs repères
L3-Chedde	2.2	2.5	1.9	1.3	1.4		Valeurs repères
L4-Prés Chapeau	2.8	2.5	2.4	2.5	2.3		Valeurs repères
L5-La Motte	1.2	2.0	1.7	1.3	1.6		Valeurs repères
L6-Servoz	3.1	2.4	2.0	3.1	6.8	2.2	HS
L7-Le Fayet	1.5	3.2	2.0	2.5	2.9		Valeurs repères
L8-Ilettes	1.9	1.6	2.5	2.1	2.7		Valeurs repères
L9-Site UVE		9.3	7.7	4.1	2.8		Valeurs repères
L10-Nord D13		2.8	2.9	4.5	5.0	1.1	Dépasse en 2025
TOTAUX L1 à L8	14.2	15.4	13.7	15.5	20.1	1.3	Hausse +30%
TOTAUX L1 à L10		27.6	24.3	24.0	27.9	1.2	Stable
VS BD	> 4,9						
Valeurs repères	0,40-4,94						

Evolution pour le nickel (mg/kg)



VS : > 4,9

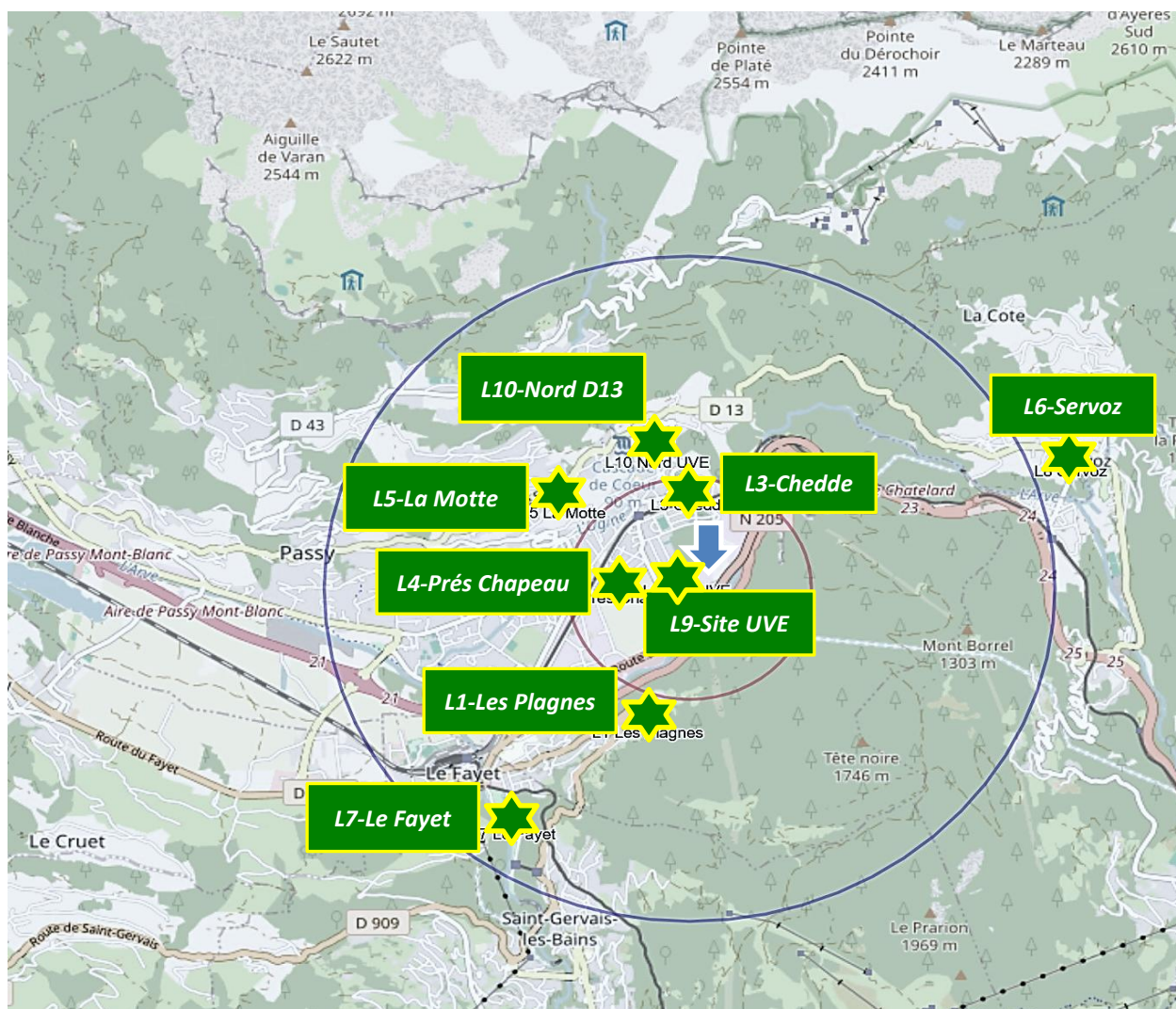
Le nickel, évolution (mg/kg)
 En bleu pointillé : VS
 Base de données Air Lichens

► Le **nickel** dépasse sur L6-Servoz et L10-Nord D13 pour la première fois sur ces deux points de suivi.
 L9-Site UVE confirme appartenir aux valeurs-repères depuis 2024.

IDENTIFICATIONS VISUELLES

LICHENS

Rappel de la localisation d'ensemble (sans le témoin L8, plus éloigné)

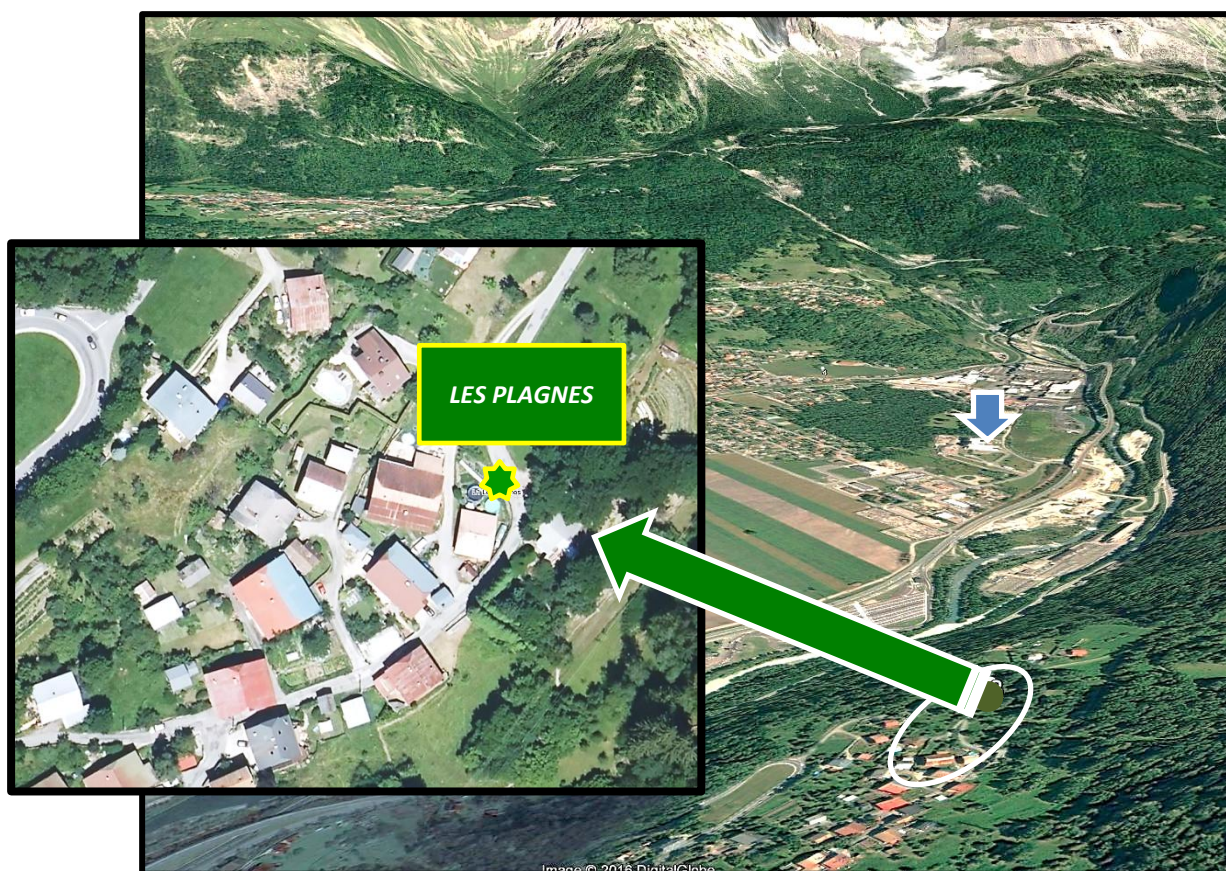


Localisation, Carte OSM. 2024 Rayons 1500m, 3000m

La flèche bleue pointe vers l'usine

8 des 9 emplacements de mesures figurent sur cette carte – sans L8-illettes beaucoup plus éloigné.

L1 LES PLAGNES



Vues satellitaires vers L1-Les Plagnes et l'usine en arrière-plan – flèche bleue (GGE & 2024, Bing Sat)



Vue vers la vallée



L1, espace de prélèvement

L3 CHEDDE

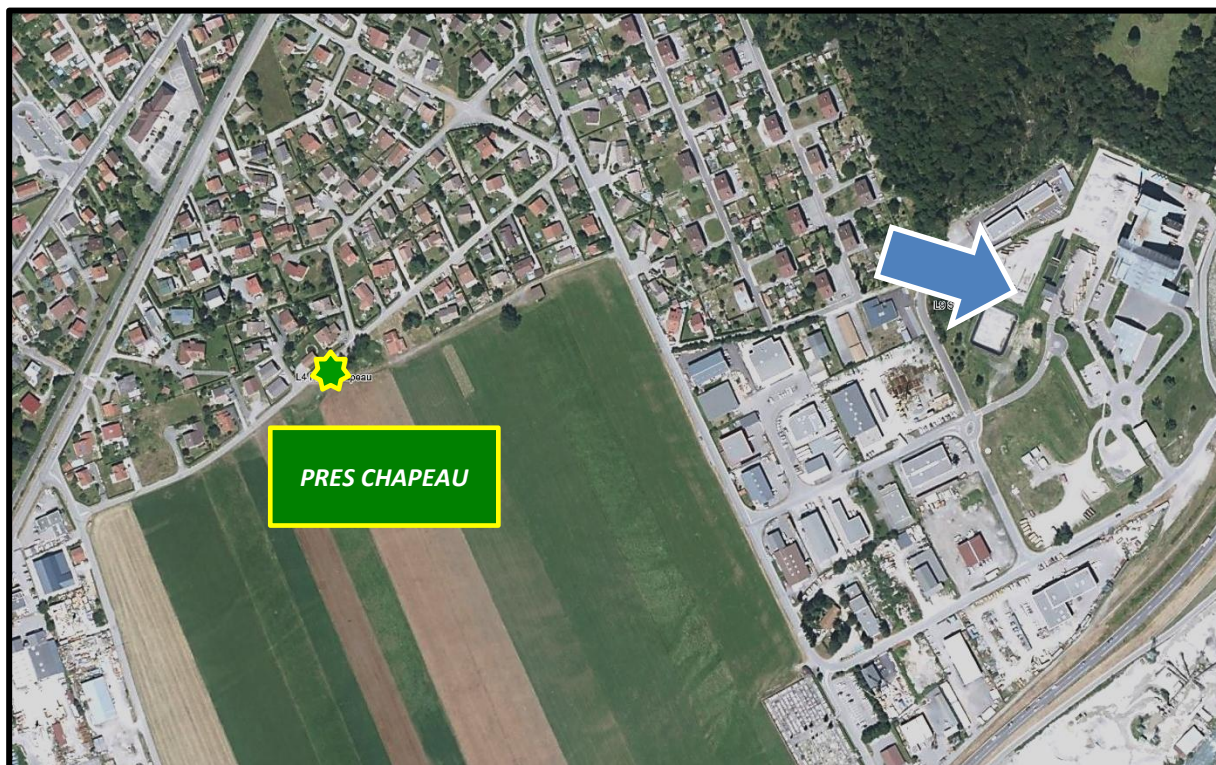


Vue satellitaire vers L3-Chedde (Bing Sat 2024)



Deux vues de l'espace de prélèvement L3-Chedde

L4 PRES CHAPEAU



*Vue satellitaire vers L4-Prés Chapeau
et l'usine – flèche bleue (Bing Sat 2024)*

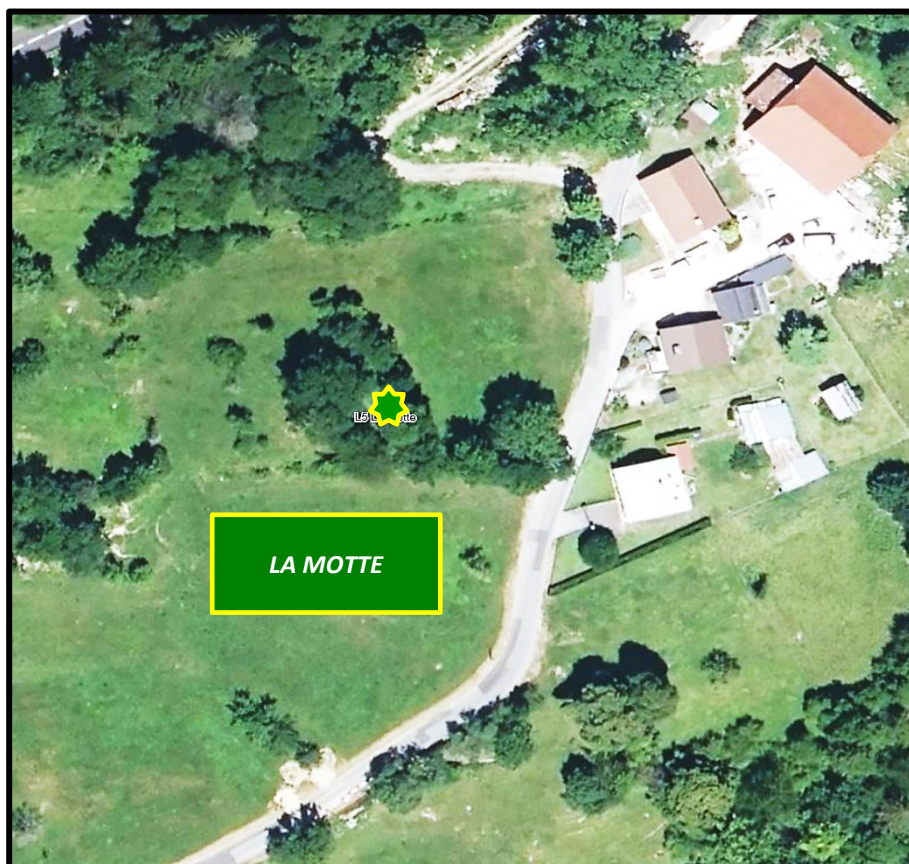


L'usine à partir de L4-Prés Chapeau



Deux photos du prélèvement L4.

L5 LA MOTTE



*Vue satellitaire rapprochée
vers L5-La Motte
(Bing Sat 2024)*



Prélèvement en secteur de prairies



Vue vers la vallée

L6 SERVOZ

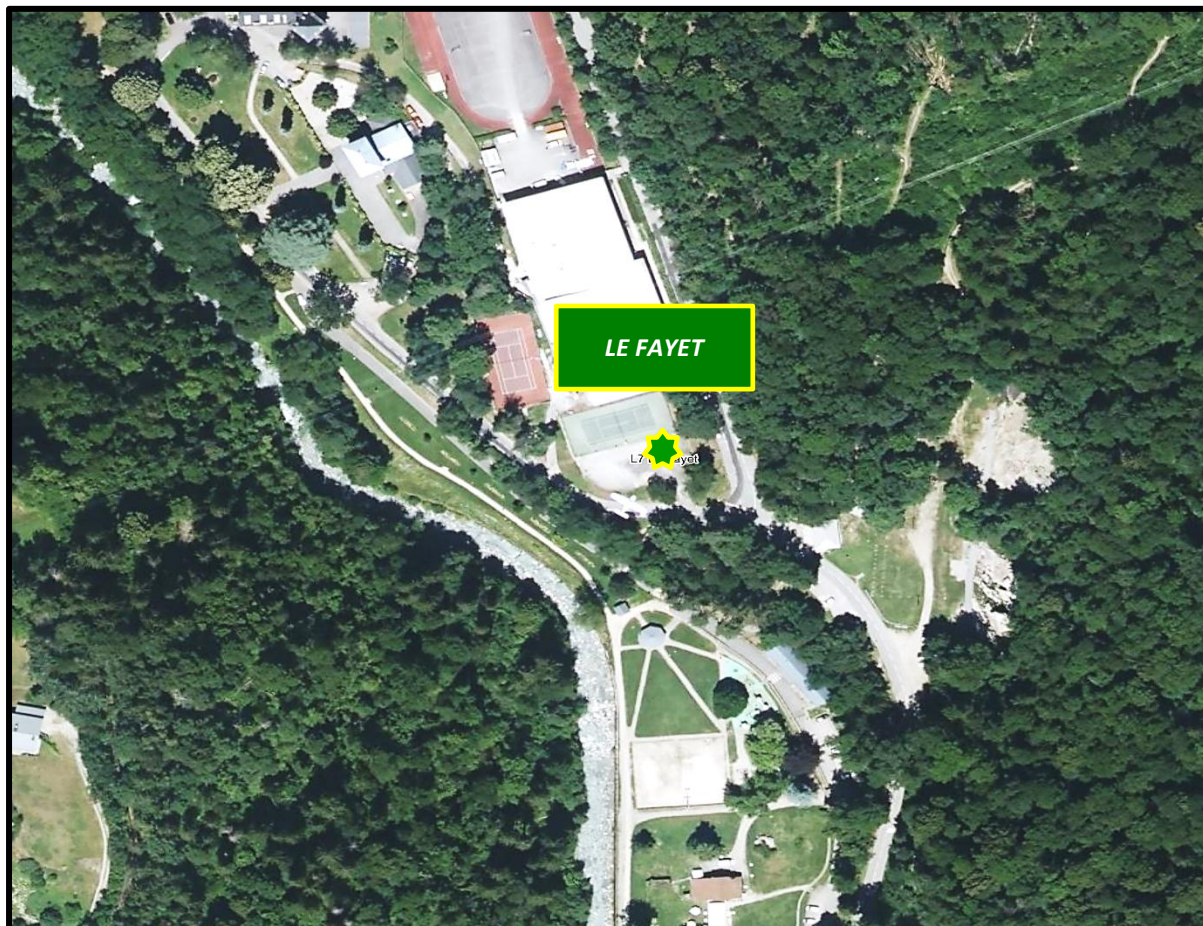


Vue satellitaire vers L6-Servoz (Bing Sat 2024)

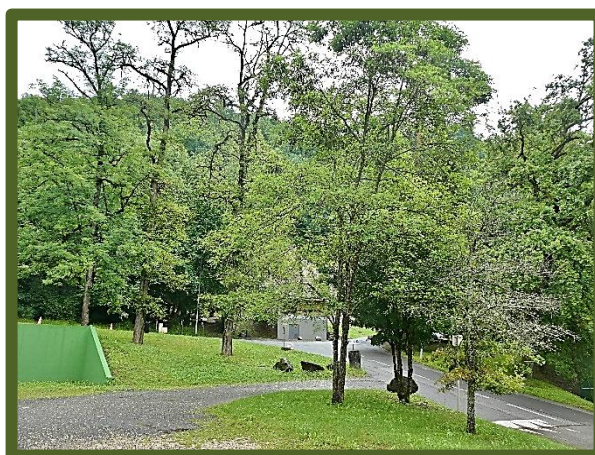


Une partie des prélèvements au pied de l'église et deux vues en direction de l'église

L7 LE FAYET

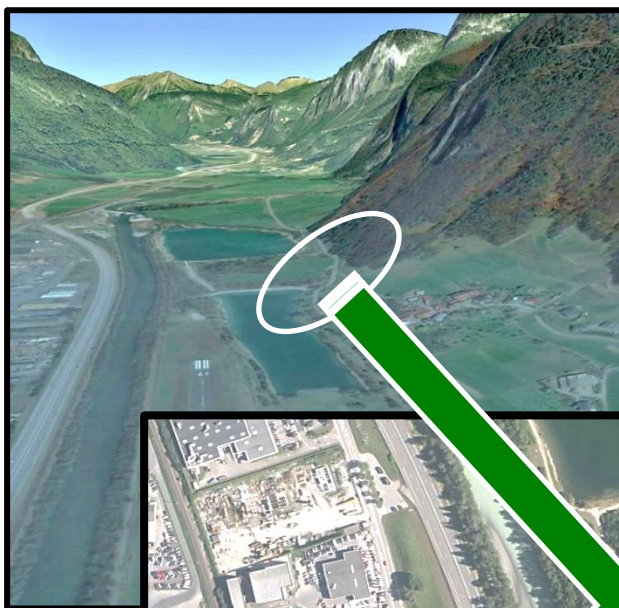


L7-Le Fayet, vue satellitaire Bing Map

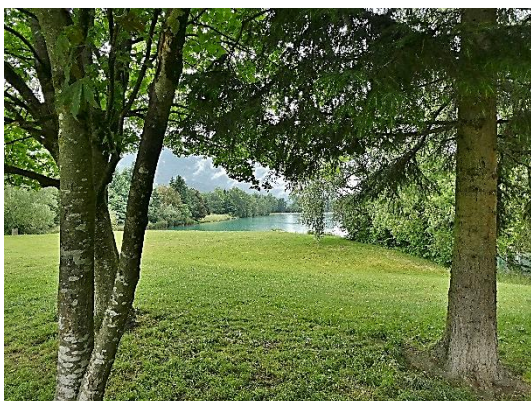


Aperçu proche du prélèvement

L8 TEMOIN ILETTES

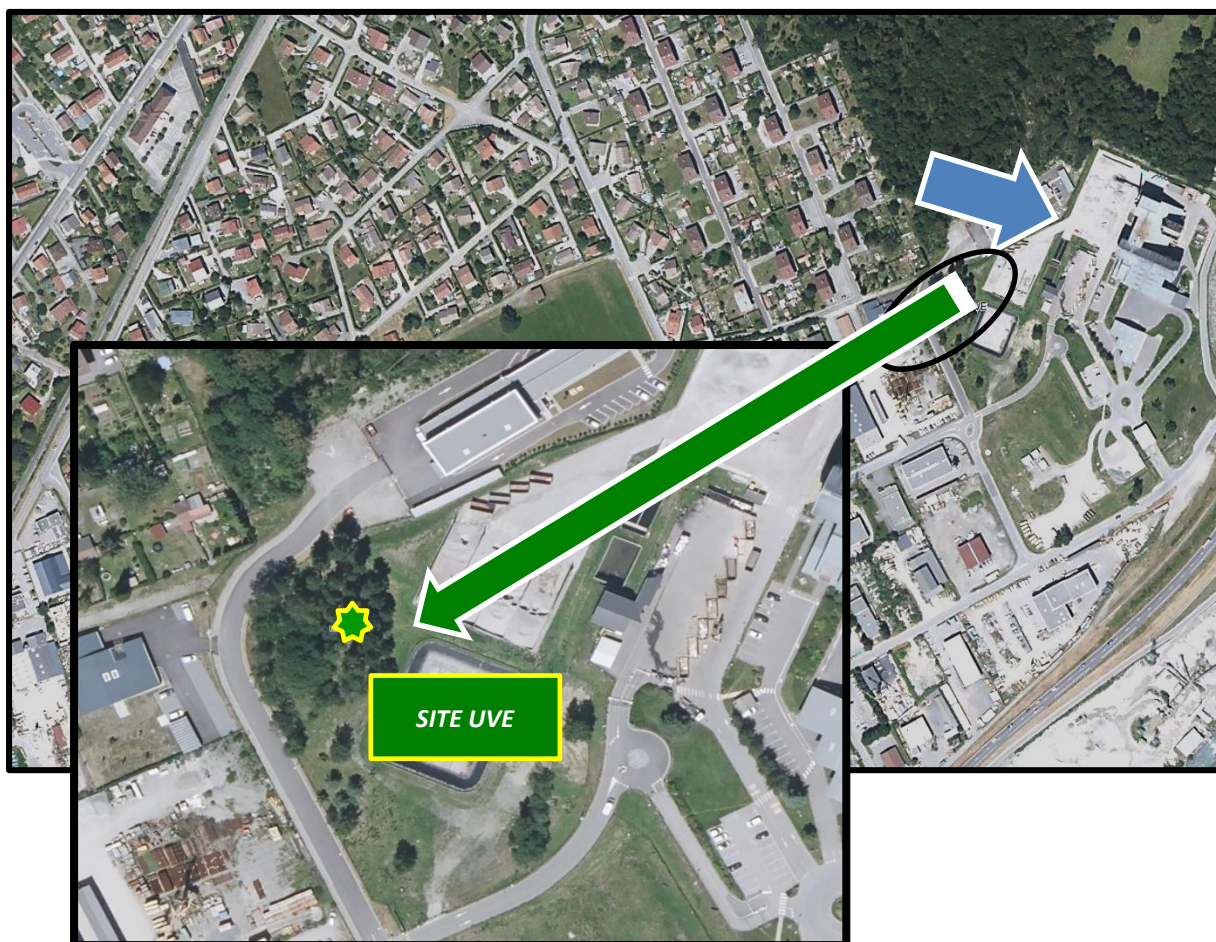


Exports plongeants vers L8-Ilettes témoin, images GGE et 2024, Bing Sat

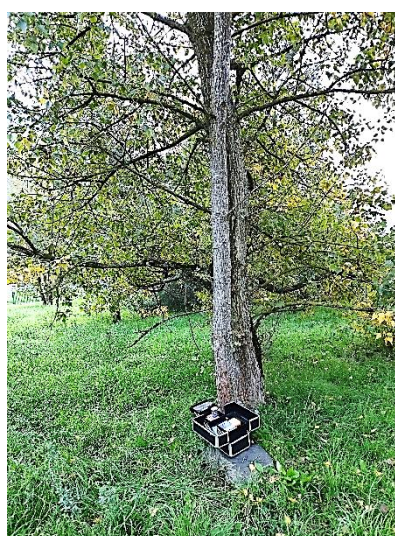


Vue du prélèvement et vue vers la vallée

L9 SITE UVE

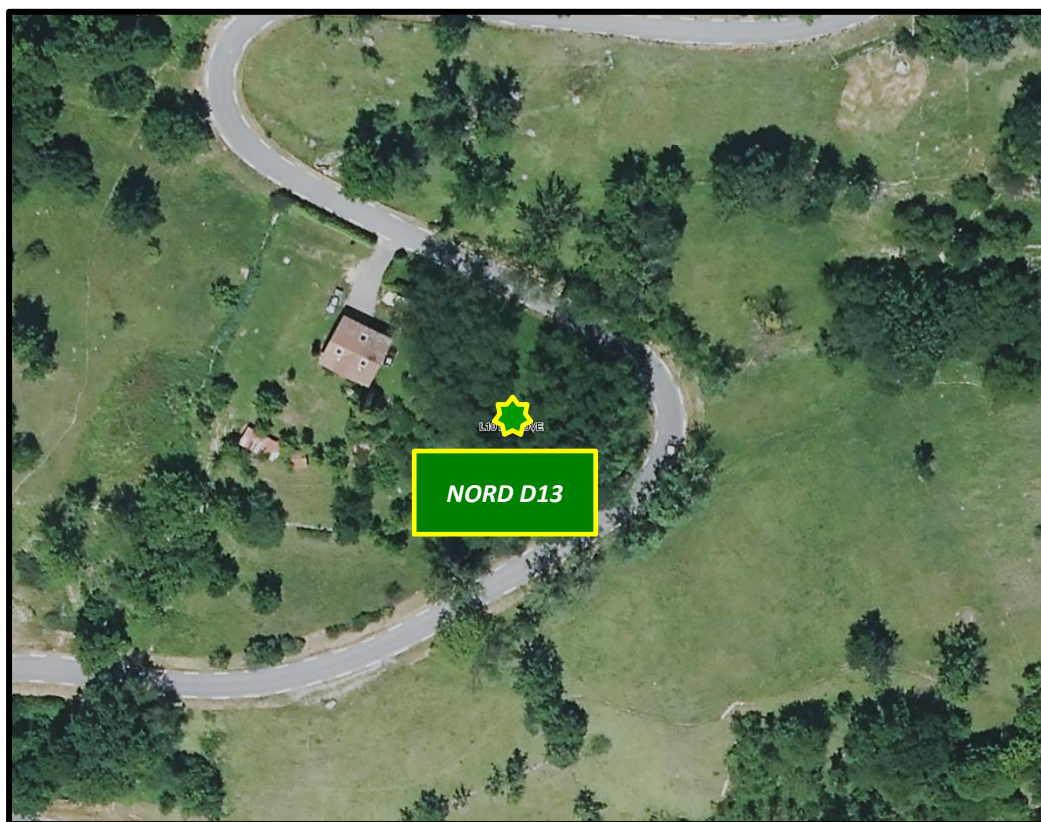


Vues satellitaires vers L9-Site UVE
et l'usine – flèche bleue (Bing Sat 2024)

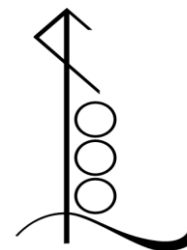


Deux vues de proximité du prélèvement dans l'UVE

L10 NORD D13



Vue du prélèvement L10



BIOSURVEILLANCE

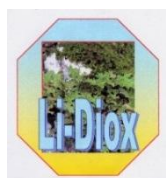
LA BIOSURVEILLANCE S'INSCRIT DANS LE CADRE DU SUIVI DE L'IMPREGNATION
ENVIRONNEMENTALE EN PCDD/F, PCB-DL et ETM
(lichens)

ANNEES 2021 à 2025

- Diverses phases de biosurveillance.
- Deux nouveaux points de suivi depuis 2022.

ANNEE 2026

**Qualité de l'air par la flore des lichens : possible.
IGQA® et oxydes d'azote, Li-Nox®.**



SAVOIR-FAIRE PRELEVEMENTS

PROTOCOLE OPERATOIRE LICHENS

Aucune autre procédure, dans les lichens, ne peut garantir la qualité des résultats.

Les interprétations des données sont issues de la recherche effectuée par Air Lichens. Toute autre référence d'interprétation des données serait invalide.

La norme de prélèvement dans les lichens NF X 43-904 n'est pas une norme d'interprétation. Les procédés d'Air Lichens sont plus précis et reproductibles. Ils appartiennent au savoir-faire de la société.

- ▶ L'espèce de lichen adéquate est standardisée pour l'ensemble des points de collecte.
- ▶ Le choix des emplacements et des espèces, la quantité de matériel (10g de poids sec) et sa qualité sont importants.
- ▶ La surface de prélèvement correspond à une surface représentative de l'exposition d'un site. Il ne s'agit pas de prélever sur un seul arbre.

Dans le respect de l'environnement et de la durabilité, la quantité de matériel prélevé est gérée pour ne pas dépeupler un site.

- ▶ Le matériel de prélèvement est médical, à usage unique, et les lichens sont prélevés avec des gants de protection afin d'éviter toute contamination externe.
- ▶ Un masque de protection est préférable près de la voie publique (pollutions routières, notamment les HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques).
- ▶ La collecte est longue et des précautions sont prises pour éviter les contaminations et assurer le transport, sans altération. Une mauvaise conservation peut nuire à la qualité des échantillons.

Recueil :

La pratique du prélèvement n'est possible qu'après une formation de terrain validée et recourt à des compétences lichénologiques. Les flacons sont différents selon les molécules à mesurer conjointement. Deux flacons ou plus sont alors utilisés séparément.

Pour éviter toute contamination, il est impossible de confier cette tâche à un opérateur fumeur car la simple respiration dégage des métaux lourds et éventuellement des PCDD/F.



*Une espèce de lichens utilisée pour les dosages
Prélèvement en cours, éloigné de la circulation automobile*

Préparation :

 **Séchage** en conditions définies et à une température optimale évitant les évaporations de polluants. S'en dispenser conduirait à une perte de sensibilité de la méthode (jusqu'à plus de 30% selon les travaux de recherche Air Lichens). La température et les conditions de séchage (la température n'est pas le seul critère) sont très strictes pour une préparation optimale.

 **Nettoyage** sous loupe binoculaire à lumière froide par des personnels qualifiés et expérimentés.

 Le poids de la matière sèche ne doit pas être faussé car il est la base des calculs de résultats.



*La préparation des échantillons
Matériel utilisé*

ORIGINE DES LICHENS TEMOINS



Couverture arborée de la Zone Témoin d'Aair Lichens dédiée R&D

Implants Ilibagues® : la Zone Témoin d'Aair Lichens est une source de lichens vierges dont le contenu en polluants correspond à un niveau de base : « bruit de fond ». Elle permet des prélèvements répétés de biocapteurs aptes à la survie après déplacement en milieu potentiellement pollué. Ses « bruits de fond » sont régulièrement vérifiés (PCDD/F, PCB, HAP, ETM).

Aair Lichens a procédé à son acquisition lors de la création du procédé « Ilibagues » ®.

La Zone Témoin d'Aair Lichens est dans la vallée de la Loire dans des secteurs autrefois inondables, elle correspond au but et à la situation souhaités. Les premiers habitats sont à plus de 500m et elle n'est pas « sous les vents » de ce hameau. Son emplacement exact fait partie du « patrimoine » d'Aair Lichens de même que : les procédures de prélèvement (essences d'arbres) ; les lichens prélevables selon leur situation sur l'arbre ; l'espèce de lichen adéquate. Le matériel adapté aux prélèvements est exclusivement réservé aux Ilibagues®.

Les données de cet emplacement témoin sont utilisées sur l'ensemble des études.

Dans certains cas, des mesures peuvent présenter des résultats inférieurs à ceux de la réserve pour des raisons parfois climatiques (ensoleillement en secteur méditerranéen par exemple). Ce choix de témoin évite de recalculer des bruits de fond individuels car, dans ces cas, des valeurs dites « significatives » ne le sont en réalité pas avec un bruit de fond plus général.



Zone Témoin = Zone de prairie naturelle de 2ha

LA SOCIÉTÉ AAIR LICHENS

AAIR LICHENS – SARL à capital variable de 7622 € minimum – 17 rue des Chevrettes – 44470 CARQUEFOU
SIRET 429 598 485 00010 – APE 7120 B – RCS Nantes 429 598 485 - ☎ 02 40 30 14 90 – 📠 02 40 30 14 60

La société Aair Lichens a été créée en 2000 (29.02.2000) dans le cadre de la loi sur l'innovation et la recherche du 15 juillet 1999, par le Dr Philippe Giraudeau, Chercheur diplômé de l'Université de Nantes et le Docteur Richard Lallemant, alors Enseignant Chercheur dans cette Université.

Le Dr Richard Lallemant en est le conseiller scientifique.

Après 11 ans de versement d'un montant d'1% du chiffre d'affaires d'Aair Lichens pour l'Université au titre de l'innovation, le contrat a été transformé en convention de Mécénat avec la [Fondation de projets](#)¹ de l'Université de Nantes.

Mécénat de recherche médicale

La société AAIR LICHENS vous remercie de votre confiance et vous entraîne dans sa démarche de contribution à la Recherche médicale :

INTEGRATION DE VOTRE INTERET POUR L'ENVIRONNEMENT DANS UNE DEMARCHE AXEE SUR UN ELARGISSEMENT A LA RECHERCHE MEDICALE

« Donner à l'université n'est pas un geste de générosité anodin, c'est une prise de position fondamentale et audacieuse, c'est montrer ses convictions pour l'universalisme et sa confiance dans l'humanité ».

Catherine de Charette-Buton / Directrice de la Fondation de l'Université de Nantes (F.U.N) – Plaquette 2016

Dr Philippe Giraudeau, Gérant de la société Aair Lichens, plaquette de la F.U.N 2016 :

“Dès sa création en 2000, Aair Lichens a été partenaire de l'Université de Nantes. (...)



Notre expertise est centrée sur la surveillance environnementale de la qualité de l'air. Travaillant pour la connaissance de l'environnement, notre ambition est de servir la santé humaine, de contribuer à la connaissance et au traitement dans ce domaine. Cette démarche n'a pas de vocation commerciale mais il s'agit d'un échange pour faire de la science, un bien commun. Nos valeurs philanthropiques sont ainsi totalement affirmées. Pour l'entreprise, il s'agit d'une forme de partage scientifique et le mécénat constitue l'aboutissement d'une volonté forte de notre part.”

Le 14 novembre 2017, fier d'un mécénat durable, utile et prometteur, en faisant partie des invités d'honneur, le Dr Philippe Giraudeau participe à la table ronde de la Fondation de l'Université de Nantes ayant pour thème : Transmission & Bien Commun : la philanthropie, un lien entre l'entreprise et la cité.

<https://www.youtube.com/watch?v=8XwuN98SiME&feature=youtu.be>

¹ La fondation de projets a pour objet la mise en œuvre de toutes actions d'intérêt général au sens de l'article 238bis du CGI concourant au renforcement de la visibilité des moyens et équipements des composantes et laboratoires. La fondation de projets a également pour objet de contribuer au financement, au soutien ou à la promotion de la vie sociale, sportive et culturelle de l'Université de Nantes. C'est un outil de développement des missions de formation, de recherche et d'insertion professionnelle.



**Fondation
Nantes Université**

Lorsque vous confiez un travail à la société Air Lichens,

Vous participez à une recherche en cancérologie.

Air Lichens apporte son soutien à « Fonds Cancers de l'enfant », « un fonds dédié aux recherches autour d'un traitement (Immunothérapie T-CAR) s'appuyant sur les globules blancs de l'enfant par thérapie génique » :

Un traitement innovant pour les cancers du système nerveux chez les enfants.

Le projet en quelques mots clés : Cancer de l'enfance ; Gliome ; Neuroblastome ; Immunothérapie T-CAR

Bilan d'activités 2024 du Fonds Cancers de l'enfant et Rapport d'activité 2023 de la Fondation Nantes Université (diverses publications et communications entrent aussi dans la recherche) :

Un traitement innovant pour les cancers du système nerveux : Fonds Cancers de l'enfant

Porté par Stéphane Birklé, Professeur en Immunologie et biothérapie à la Faculté de Pharmacie de Nantes Université et chercheur au centre de recherche en Cancérologie et Immunologie de Nantes-Angers, le Fonds Cancers de l'enfant a pour double objectif d'augmenter le taux de guérison notamment pour les cancers du système nerveux central et périphérique et de diminuer les séquelles chez l'enfant grâce à un traitement ciblé.

Le **neuroblastome** est un cancer grave de l'enfance, dont les traitements actuels sont souvent inefficaces et provoquent de lourds effets secondaires.

L'immunothérapie, qui stimule le système immunitaire pour attaquer la tumeur, offre de nouveaux espoirs. La thérapie CAR-T, déjà utilisée pour certaines leucémies, n'est cependant pas très efficace contre le neuroblastome.

Une autre piste prometteuse repose sur des globules blancs particuliers, les **lymphocytes T gamma-delta**, capables de tuer directement les cellules cancéreuses. Leur action peut être renforcée grâce à des anticorps bispécifiques, qui servent de pont entre ces cellules immunitaires et la tumeur.

L'équipe de recherche développe actuellement ces nouvelles approches, dans le but d'identifier la meilleure stratégie pour traiter le neuroblastome à haut risque, tout en limitant les effets secondaires et les contraintes des traitements existants.

Faits marquants 2024

- **Poursuite de la thèse de Pierre Machy** « Biologie du ganglioside GD2 : implications pour l'immunothérapie du cancer »
Fondation ARC/FRM : allocation de 4^{ème} année de thèse.
- **Projet Cancers de l'enfant**
Lauréat d'un financement La ligue contre le cancer et de la Fondation Bristol Myers Squibb pour la recherche en immuno-oncologie

**Merci à Air Lichens
pour son soutien depuis 2012
sur le Fonds Cancers de l'enfant**



Les mécènes de la Fondation de l'Université de Nantes sont présentés sur la page web FUN :

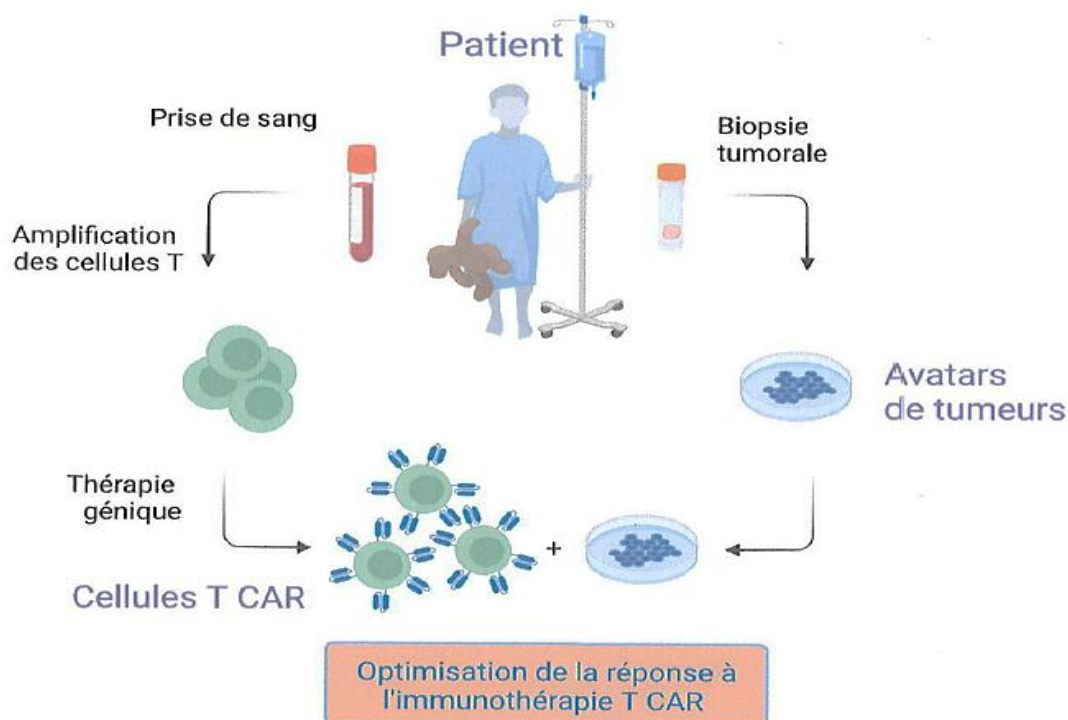
<https://fondation.univ-nantes.fr/nos-mecenes>



CIRCI²NA
CANCER & IMMUNOLOGY

Plaquette informative

Cancer de l'enfant : un traitement innovant à l'étude à Nantes



Au sein du Centre de Recherche en Cancérologie et Immunologie Intégrée de Nantes - Angers, nous travaillons sur la mise au point d'un nouveau type de médecine personnalisée pour traiter les enfants atteints d'un neuroblastome basé sur l'utilisation de lymphocytes T CAR.

Il s'agit d'un traitement produit à partir des propres lymphocytes T de l'enfant, autrement dit de ses globules blancs, qui jouent un rôle majeur au sein du système immunitaire. Les lymphocytes T ont pour fonction d'identifier, de maîtriser et de détruire les cellules infectées par un virus et les cellules cancéreuses. Malheureusement, ces dernières parviennent à se soustraire à la détection des lymphocytes T par différents mécanismes. Il est possible d'équiper les lymphocytes du patient d'un détecteur de cellules tumorales appelé CAR (de l'anglais *chimeric antigen receptor* ou récepteur chimérique à l'antigène). Cette étape est réalisée au laboratoire par thérapie génique qui permet d'introduire le gène codant le récepteur CAR dans les lymphocytes T. Une fois produite, les cellules T CAR subissent des contrôles de qualité en vue de leur administration chez le patient. Ce mode de traitement permet de traiter les patients atteints de leucémie réfractaire à la chimiothérapie.

Dans le cadre du neuroblastome, le développement de cette approche nécessite une connaissance approfondie de la capacité fonctionnelle de ces cellules qui reste encore largement inconnue chez les enfants atteints de neuroblastome. Notre programme de recherche a pour objectif de mettre au point un procédé de production de cellules T CAR à partir d'une prise de sang et d'analyser leur propriétés anti-tumorale dans des avatars de tumeur de patients en vue de l'évaluation clinique de cette approche dans le cadre du neuroblastome.

CIRCI²NA
Centre de Recherche en Cancérologie
et Immunologie Intégrée, Nantes Angers

Inserm



Nantes
Université



université
angers

Stéphane Birklé

University Professor

Stephane.Birkle@univ-nantes.fr

Nantes Université

crci2na.univ-nantes.fr

02 28 08 03 00

Engagement environnemental

Chaque collaboration avec Air Lichens vous permet de participer à la recherche médicale et d'investir vers un monde durable en plantant avec nous des forêts dans des pays atteints par des déboisements insensés. L'association « Cœur de Forêt »² représente cette entité.

Pendant plusieurs années nous avons participé ensemble à un reboisement dans les forêts primaires du Cameroun. En 2022, reboisement, entre autres, avec 5 500 arbres plantés par la coopérative (en parcelle communautaire) et par 15 membres en parcelles individuelles. En 2023, la Coopérative qui bénéficiait du soutien est devenue autonome.

Le nouveau projet actuellement soutenu concerne l'île de Florès en Indonésie.

Cet engagement environnemental intervient simultanément à la compensation des dépenses en CO2 dans le cadre des missions environnementales.



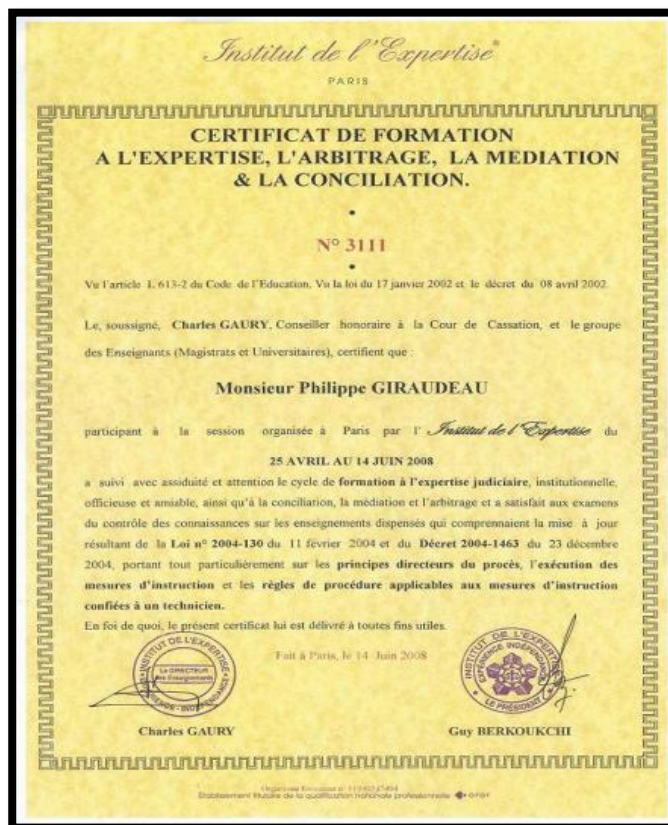
Dr Philippe Giraudeau : Chercheur lichénologue,
Biologiste,
Gérant de la Société Air Lichens.

AIR LICHENS
17 rue des Chevrettes
44470 CARQUEFOU
Tél. : 02 40 30 14 90

Mobile : 06 12 08 65 85
Fax : 02 40 30 14 60
E-mail : air.lichens@wanadoo.fr

Le Dr Giraudeau est expert certifié à l'expertise, l'arbitrage, la médiation et la conciliation :
N°3111 Institut de l'Expertise – Paris 2008

² L'objectif de Cœur de forêt est de « Planter des arbres » afin d'aider à la régénération de la biodiversité, la sauvegarde des forêts primaires de la planète, la création de masse verte, ainsi que la gestion raisonnée des ressources.

CERTIFICAT DE FORMATION A L'EXPERTISE, DR PHILIPPE GIRAUDAU**DECISION D'AGREMENT**

Le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche a accordé l'agrément, prévu au II d bis de l'article 244 quater B du code général des impôts pour les organismes de recherche privés, à :

AAIR LICHENS

(Siren 429598485)

Agrément au titre des années :

2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020

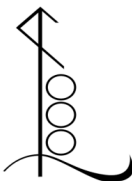
Renouvellement pour les années 2021 à 2025

MARQUES ET BREVET

Les méthodes et procédés mis au point par la société Air Lichens sont utilisés pour des Communautés Urbaines, des Conseils Généraux et l'Industrie, et sont mis en œuvre en collaboration avec des bureaux d'études.

MARQUES

Nom	LOGO	Désignation	N° de référence
IGQA®		Indice Global de la Qualité de l'Air 103714584	003001584
Li-Diox®		Retombées atmosphériques de dioxines et furanes ou PCDD/F	103710474
Li-Nox®		Mesure de l'influence des oxydes d'azote atmosphériques	103714600
Li-HAP®		Retombées atmosphériques d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	103714602
Ilibagues®		Dépôt du 13 octobre 2014	144126758 4126548
implants de lichens®		Dépôt du 13 octobre 2014	144126415 4126543
Dioxines et furanes dans les lichens®		Publiée au BOPI n°14/37 Vol II du 12 septembre 2014	103714597

Aair Lichens		Représentation graphique d'Aair Lichens : la partie haute représente un A grâce à un triangle coupé par le L calligraphié. Les 3 cercles équilibrant ensuite la figure représentent à la fois Air pour devenir Aair et des lichens sur un tronc d'arbre, le L devenant ainsi un tronc d'arbre avec une racine et le A triangulaire les feuilles d'un arbre.
---------------------	---	---

IGQA®

Le but est de déceler la qualité atmosphérique globale sur des secteurs pouvant être soumis à diverses pollutions. Cette méthode a été développée pour effectuer un Diagnostic Global de la Qualité de l’Air en donnant les résultats sous forme d’Indice Global de la Qualité de l’Air ou I.G.Q.A. (les initiales en anglais sont G.I.A.Q. pour Global Index of Air Quality ou G.A.Q.I pour Global Air Quality Index). Elle utilise l’observation de la flore lichénique corticole. Elle est basée sur la recherche de quarante espèces de lichens corticoles différentes réparties en six niveaux de qualité et de valeur écologique différents. Le nombre des espèces présentes à chaque niveau est pris en compte par rapport à la totalité des espèces de ce niveau. Il est utilisé à des fins de diagnostic sur de vastes surfaces et permet d’obtenir des données utilisables pour un suivi (Biomonitoring ou Biosurveillance).

Aujourd’hui, le retour sur expérience permet d’arriver en phase de Biosurveillance en routine sur plusieurs communautés urbaines et des industries, permettant ainsi de suivre au bout de trois années l’évolution de l’exposition à des modifications de la qualité de l’air.

PROCEDES EXCLUSIFS, BREVET

Nom	Désignation	N° de référence
Li-Diox	Mesure des teneurs environnementales en polychlorodibenzodioxines et en polychlorodibenzofuranes en utilisant les lichens comme matériel de dosage.	01 03485 Méthode classée en Découverte par voie de justice
Li-Nox	Mesure des teneurs atmosphériques en Oxydes d’azote en utilisant les lichens comme matériel de dosage.	02 16455 Brevet délivré le 4 Août 2006
Li-HAP	Mesure des teneurs environnementales en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques en utilisant les lichens comme matériel de dosage	01 080001

Li-Diox®

Cette méthode concerne le domaine technique de la Biosurveillance de la qualité de l’air telle qu’elle s’entend lorsque des activités humaines ont pour conséquence l’augmentation significative du taux atmosphérique de dioxines et furanes. Elle réside dans l’utilisation des lichens croissant naturellement dans l’environnement comme outils de Biosurveillance active ou utilisée après confection de transplants. Elle concerne toute espèce de lichens poussant sur les sols ou sur les supports verticaux ou horizontaux, quels qu’ils soient. Le procédé Li-Diox a été mis au point après des travaux de recherche. Le projet a été soutenu au départ par l’Agence Nationale de Valorisation de la Recherche sous condition d’une application industrielle. Ce programme de recherche a alors été favorablement accueilli par les Pouvoirs Publics et les représentants de l’état.

La société AAIR LICHENS, est titulaire de la marque (Li-Diox®, INPI 003072536). N’ayant pas délivré de licence, elle a légalement l’exclusivité de son utilisation. Le procédé a été cité au cours journées de l’ADEME (Paris 10 et 11 mars 2004) par le Ministère de l’Ecologie et du Développement Durable. Il a permis de mettre en place des surveillances environnementales autour d’usines d’incinération de tous types et d’industries (fonderies, cimenteries, chimie, sidérurgie, industrie pharmaceutique, stockages de déchets, sites classés dangereux).

Li-Diox® et « Dioxines et furanes dans les lichens » ®
(Marques de l’utilisation des lichens pour le suivi des Dioxines et Furanes, Air Lichens)

Li-Nox®

Cette invention réside dans l'utilisation des lichens croissant naturellement quel que soit leur support ou utilisés sous forme de transplants ou de cultures, dans le but d'effectuer **des mesures des teneurs atmosphériques en oxydes d'azote**. Elle a été créée après plus de 3000 relevés dans les Parcs et Jardins de Paris. Ce procédé breveté met en œuvre une échelle de sensibilité des espèces de lichens selon les teneurs atmosphériques qualitatives ou quantitatives en oxydes d'azote.

Mesure de l'exposition aux oxydes d'azote => **BREVET OBTENU** en 2006 - Mise au point après quatre années de travaux avec la Mairie de Paris.

La société Air Lichens a été récompensée par un **Oxygen Award** d'honneur pour ses méthodes innovantes de suivi de la qualité de l'air le 10 novembre 2006 à Enghien-les-Bains en présence de Madame la Ministre de l'Environnement et du Sénateur Président du Conseil National de l'Air.

En 2007, c'est au tour de la création du Procédé Li-Nox® d'être récompensée par un Oxygen-Award dans le cadre du Congrès Médical des Respirations d'Enghien.

Li-HAP®

Cette invention consiste en la mise à disposition de lichens, dans le but d'effectuer **des mesures des composés Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques** transitant par l'atmosphère directement ou indirectement et retombant dans l'environnement, naturel ou modifié par les activités humaines.

Ce procédé a été mis au point initialement à la demande des autorités sanitaires lors de la catastrophe pétrolière Erika.

MEMBRE D'ASSOCIATIONS

- Membre de l'Association Française de Lichénologie (AFL)
- Membre de L'International Association for Lichenology (IAL) (Association Internationale de Lichénologie).
- Membre des groupes de travail Air Quality Professionals (Professionnels de la Qualité de l'Air) et Ambient Air Quality Monitoring Solutions (Solutions de surveillance de la Qualité de l'Air ambiante) sur LinkedIn via le Dr Fanny.

PARTICIPATION AUX RECHERCHES SUR LES LICHENS**Dernières recherches / formations :**

Session CHIMIE des lichens à Rennes (du 19 au 21 mai 2022) : le Dr Giraudeau a participé à cette session, accueilli à la Fac de Pharmacie (labo de chimie) de Rennes pour maîtriser la technique CCM, et expérimenter la réaction KUV sur des espèces foliacées (xanthoparmelias bruns).

**Dernières publications :**

PCB, environnement et santé En 2016, que sait-on sur les PCB ? Un collectif multidisciplinaire de spécialistes fait le point des plus récents acquis scientifiques sur ces polluants toxiques : GIRAUDEAU P., 2016 – Participation au chapitre 20 « Réseaux de surveillance des PCB dans l'environnement » : 3, 3.1, 3.2 et 3.3 : La surveillance de la qualité de l'atmosphère à l'aide des lichens, bioconcentration des PCB par les lichens, comparaison des concentrations des PCB dans les lichens et dans les herbes, validation de l'utilisation des lichens pour la surveillance de la qualité de l'atmosphère, in *PCB, Environnement et Santé*, pp.658-664, Amiard J.-C., Meunier T., Babut M., Lavoisier, Tec & Doc, Chimie, Paris, 737 p.

GIRAUDEAU P., LALLEMANT R., 2015 – « Les lichens, outils dynamiques de la surveillance des PCB dans l'atmosphère », *Pollution Atmosphérique* n°226, juin-septembre, Actes du Workshop International de Lille 13-14 octobre 2014.

NORMES AFNOR ET CEN

ÉLABORATION DE NORMES FRANÇAISES ET EUROPÉENNES

Aair Lichens, représentée par le Pr Richard Lallemand, a participé de 2005 à 2015 aux travaux de Commission de Normalisation AFNOR T95R et AFNOR CEN/TC 264.

Les diverses Réunions CEN (Comité Européen de Normalisation) en France, en Allemagne et en Italie au sein du Workgroup 31 ont conduit à la publication de normes européennes et françaises telles que :

- NF X 43-903 « Détermination d'un indice biologique de lichens épiphytes (IBLE) » **aujourd'hui remplacée par la norme NF-EN-16413.**
- NF X 43-904 « 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 ».
- NF EN 16413 : « Qualité de l'air - Biosurveillance à l'aide de lichens - Évaluation de la diversité des lichens épiphytes ».

PARTICIPATION ACTIVE D'AAIR LICHENS A L'ELABORATION DE NORMES

FRANCE, commission de Normalisation AFNOR T95R, Participation Aair Lichens représentée par le Pr Richard Lallemand puis le Dr Philippe Giraudeau			
NF X 43-903	Mai 2008	Détermination d'un indice biologique de lichens épiphytes (IBLE)	ANNULEE et remplacée par NF EN 16413 depuis mars 2014
NF X 43-904	Janvier 2013	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	Ce n'est pas une norme interprétative mais de récolte
EUROPE, commission de Normalisation AFNOR CEN / TC 264, « Biomonitoring methods with mosses and lichens », Participation Aair Lichens représentée par le Pr Richard Lallemand			
NF EN 16413	Mars 2014	Air Ambient - Biosurveillance à l'aide de lichens - Évaluation de la diversité des lichens épiphytes - Qualité de l'air	Norme Française et Européenne, elle remplace la NF X 43-903. Norme technique de diversité, l'interprétation n'est pas normée

PRINCIPALES NORMES UTILISEES PAR AAIR LICHENS

- NF X 43-903 – Mai 2008 : DETERMINATION D'UN INDICE BIOLOGIQUE DES LICHENS EPIPHYTES (IBLE) : Norme aujourd'hui remplacée par la norme européenne (NF EN 16413)
- NF X 43-904 – Janvier 2013, Biosurveillance passive de la qualité de l'air à l'aide des lichens autochtones : de la récolte à la préparation des échantillons.
- NF ISO 10381-6, QUALITE DU SOL, ECHANTILLONNAGE, PARTIE 6, lignes directrices pour la collecte, la manipulation et la conservation, dans des conditions aérobies, de sols destinés à l'évaluation en laboratoire des processus, de la biomasse et de la diversité microbiens, juin 2009.

- NF ISO 10381-5, QUALITE DU SOL, ECHANTILLONNAGE, PARTIE 5, lignes directrices pour la procédure d'investigation des sols pollués en sites urbains et industriels, décembre 2005.
- NF ISO 10381-2, QUALITE DU SOL, ECHANTILLONNAGE, PARTIE 2, lignes directrices pour les techniques d'échantillonnage, mars 2003.
- NF X31-100, QUALITE DES SOLS, ECHANTILLONNAGE, méthode de prélèvement d'échantillons du sol, décembre 1992
- NF X43-014, QUALITE DE L'AIR, AIR AMBIANT, DETERMINATION DES RETOMBEES ATMOSPHERIQUES TOTALES, ECHANTILLONNAGE, préparation des échantillons avant analyses, **novembre 2017**.
- NF-EN 15841, QUALITE DE L'AIR AMBIANT - Méthode normalisée pour la détermination des dépôts d'arsenic, de cadmium, de nickel et de plomb, Janvier 2010
- NF-EN ISO 707, LAIT ET PRODUITS LAITIERS, Lignes directrices pour l'échantillonnage, avril 2009.

Participations aux congrès

RECONNAISSANCE NATIONALE ET INTERNATIONALE

14 Novembre 2017 : Participation à la table ronde de la fondation de l'université de Nantes sur le thème *Transmission & Bien Commun : la philanthropie, un lien entre l'entreprise et la cité* dans le cadre du mécénat Aair Lichens sur le projet « Biothérapies du Neuroblastome », (Université de Nantes).

13 et 14 Octobre 2014 : *Biosurveillance végétale & fongique de la qualité de l'air, Workshop international*, Lille (Nouveau Siècle), France, conférence Aair Lichens sur le thème : « *Les lichens, outils dynamiques de la surveillance des PCB dans l'atmosphère* ».

10 et 11 Décembre 2013 : Symposium de la British Lichen Society, au Royaume-Uni (Université de Nottingham).

12 et 13 Janvier 2013 : Congrès BIOMAQ, en Belgique (Université d'Anvers).

9 au 13 Janvier 2012 : Septième Symposium de l'International Association of Lichenology (IAL), en Thaïlande (Université de Bangkok), conférence Aair Lichens sur le thème : « *Dix années de suivi environnemental des dioxines et furanes en utilisant les lichens en France* ».

GLOSSAIRE

Acidocline :	Dont le pH est acide.
Apothécies :	Fructifications en forme de coupe, variables en taille, couleur et localisation selon les espèces.
Autotrophe :	Qui suffit à sa propre subsistance.
Basiline :	Dont le pH est basique.
Biocapteur :	Organisme vivant qui capte les modifications de la qualité de l'air physiquement ou chimiquement.
Bioindication :	Evaluation de la qualité des milieux à l'aide de matériaux vivants connus pour leurs capacités de sentinelles des milieux.
Biosurveillance :	Utilisation du vivant pour surveiller des modifications ou la stabilité de la qualité du milieu.
Communauté lichénique :	Ensemble des espèces de lichens qui se développent et se perpétuent naturellement conjointement dans les mêmes sites et les mêmes conditions.
Corticole :	Etymologiquement ce terme signifie : qui pousse sur un cortex ou une écorce. Employé dans le cas des lichens, il s'agit de ceux qui poussent naturellement sur l'écorce des arbres.

Cuticule :	<i>Pellicule imperméable protectrice présente à la surface des végétaux supérieurs.</i>
Désorption ou exsorption :	<i>Fuite naturelle du contenu en polluants.</i>
Diffusivité :	<i>C'est un coefficient représentant la diffusion des molécules.</i>
Electrolytes :	<i>L'ensemble des éléments minéraux intervenant dans l'équilibre vital des individus ; exemples : le sodium, le potassium.</i>
Epiphyte :	<i>Espèce qui pousse sur un support végétal.</i>
ETM :	<i>Elément Trace Métallique</i>
Eutrophisé :	<i>Qui subit un apport de composés nutritifs important. Les pollutions azotées provoquent une eutrophisation. Des arbres possèdent naturellement une écorce eutrophisée, ce qui leur confère un pH basique, qui intervient dans l'installation préférentielle de certains lichens. Entre écorces eutrophisées ou non-eutrophisées, la flore lichénique peut être différente et les deux cas peuvent se rencontrer sur les mêmes sites.</i>
Exposition :	<i>C'est une grandeur à visée sanitaire qui prend en compte à la fois des concentrations mesurées (ou à défaut évaluées) et leurs durées dans le temps.</i>
Foliacés :	<i>Les lichens foliacés forment un thalle de pseudo-feuilles en forme de lobes.</i>
Fruticuleux :	<i>Les lichens fruticuleux forment un thalle en tiges ou lanières ramifiées ou non.</i>
Fumigation :	<i>Test consistant à exposer les lichens à des quantités connues de polluants choisis et à mesurer leurs conséquences sur les capacités de survie ou d'absorption des polluants.</i>
GGE :	<i>Google Earth</i>
IGQA :	<i>Indice Global de la Qualité de l'Air, nom de la technique lichénologique utilisée.</i>
INPI :	<i>Institut National de la Propriété Industrielle.</i>
Mycosymbiote ou mycobiont :	<i>Le partenaire mycosymbiote d'une association lichénique est celui qui héberge le photosymbiote. Il s'agit le plus souvent d'un champignon appartenant à l'ordre des ascomycètes.</i>
Nécrose :	<i>Dégénérescence due à une atteinte vitale.</i>
Nitrophile :	<i>Qui profite de l'azote en excès (ammoniac ou oxydes d'azote) pour se développer.</i>
Photosymbiote ou photobiont :	<i>Le partenaire photosymbiote d'une association lichénique est celui qui assure la photosynthèse. Selon les espèces concernées, il peut s'agir d'une algue, d'une cyanobactérie ou des deux. Il est aussi appelé phycosymbiote.</i>
Poléophile :	<i>Du Grec philos (aimer) et poleos (pollution), se dit d'une espèce qui profite de la pollution pour se développer.</i>
Poléophobe :	<i>Du Grec phobos (détester) et poleos (pollution), se dit d'une espèce qui ne supporte pas la pollution.</i>
Poléotolérance :	<i>Qui tolère la pollution sans disparaître ni se développer de façon accrue.</i>
Rhizine :	<i>Système d'attache des lichens foliacés, ensemble de pieds très courts répartis sur la face inférieure du lichen.</i>
Saxicole :	<i>Un lichen saxicole pousse sur un support minéral, roche ou béton.</i>
SIG :	<i>Système d'Information Géographique (cartes numériques de modélisation).</i>
Soralie :	<i>Amas farineux ou granuleux, le plus souvent de couleur différente de celle du thalle.</i>
Sorédie :	<i>Elément de base de la soralie, qui est constitué d'un ensemble de sorédies.</i>
Stomates :	<i>Pores des végétaux supérieurs capables de s'obturer en cas de stress, le plus souvent hydrique.</i>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ces références ne sont pas exhaustives.

Une liste de sources plus complète peut être fournie sur demande.

Livres

GIRAUDEAU P., 2016 – Participation au chapitre 20 « Réseaux de surveillance des PCB dans l'environnement » : 3, 3.1, 3.2 et 3.3 : La surveillance de la qualité de l'atmosphère à l'aide des lichens, bioconcentration des PCB par les lichens, comparaison des concentrations des PCB dans les lichens et dans les herbes, validation de l'utilisation des lichens pour la surveillance de la qualité de l'atmosphère, in *PCB, Environnement et Santé*, pp.658-664, Amiard J.-C., Meunier T., Babut M., Lavoisier, Tec & Doc, Chimie, Paris, 737p.

GIRAUDEAU P., LALLEMANT R., 2015 – « Les lichens, outils dynamiques de la surveillance des PCB dans l'atmosphère », *Pollution Atmosphérique* n°226, juin-septembre, Actes du Workshop International de Lille 13-14 octobre 2014.

GIRAUDEAU P., LALLEMANT R., 2002 – *ACI VILLE : Modalités matérielles et techniques du renouvellement Urbain : Caractérisation des états physiques liés au vieillissement et à la dégradation des faces et surfaces urbaines : L'apport de la Lichénologie*, CNRS Laboratoire CERMA UMR 1563, Université de Nantes, Faculté des Sciences et des techniques, 90 p.

GIRAUDEAU P., 2001 — *Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, Bioaccumulation Lichénique, Agglomération Nantaise*, Air Lichens rapport A2-5, DDASS de Loire-Atlantique, Service Santé Environnement : 65 p. – Non Publié

GIRAUDEAU P., 2000 – « Une technologie innovante au service de l'entreprise et de l'environnement : l'IGQA » – *FLASH-INFO*, Région des Pays de la Loire, L'information scientifique et technique, Environnement : De la dépollution à l'éco-conception, (44) 09/2000.

GIRAUDEAU P., 2000 – *Emanations atmosphériques côtières consécutives à la libération d'hydrocarbures dans le milieu marin – Affaire ERIKA – Etudes lichéniques ; Deuxième phase et synthèse* – DDASS de la Loire-Atlantique – Service Santé-Environnement, 46 p. – Non publié.

GIRAUDEAU P., 1998. - *Etude de l'impact des émissions atmosphériques de la centrale de Cordemais, cartographie des retombées acides*, Contrat EDF, non disponible : 17 p.

GIRAUDEAU P., LALLEMANT R., 1997. - *Etude de l'impact des émissions ammoniacales agricoles sur la qualité atmosphérique*, Nantes ; DDASS : 27 p.

GIRAUDEAU P., 1997. - *La flore lichénique appliquée à l'étude de la pollution atmosphérique azotée liée à l'élevage bovin dans le Nord de la Loire-Atlantique*. Lab. Biol. Vég. et Biotech. Université de Nantes : 26 p.

Articles

GIRAUDEAU P., LALLEMANT R., 2015 – « Les lichens, outils dynamiques de la surveillance des PCB dans l'atmosphère », *Pollution Atmosphérique* n°226, juin-septembre, Actes du Workshop International de Lille 13-14 octobre 2014.

GIRAUDEAU P., 2000 – « Une technologie innovante au service de l'entreprise et de l'environnement : l'IGQA » – *FLASH-INFO*, Région des Pays de la Loire, L'information scientifique et technique, Environnement : De la dépollution à l'éco-conception, (44) 09/2000.

GIRAUDEAU P., CLERIVET M., FICHE C., 1997. – « La pollution en Loire-Atlantique ; synthèse de travaux récents », *Bull. Soc. Sc. Nat. Ouest de la France*, nouvelle série, tome 19, (4), pp.157-172.

Revues / Sites web spécialisés

- ADEME
- AFNOR – diverses normes
- CITEPA (format SECTEN), annuellement
- EFSA
- ANSES
- Bulletin de l'Association Française de Lichénologie
- Bulletin de l'Association Internationale de Lichénologie
- Environnement et Techniques
- INERIS
- INRS, Institut National de Recherche et de Sécurité, Fiche Toxicologique
- JOUE, JO - Diverses lois-règlements-décrets Europe et France.
- WHO (OMS) Guidelines

ANNEXES

LES LICHENS - BIOINDICATEURS

Notions de Physiologie

Les lichens sont caractérisés par leur composition unique, résultat de l'association symbiotique mutualiste de deux partenaires très différents au départ. L'un est algal ou cyanobactérien, le photosymbiote, producteur autotrophe et l'autre est fongique, le mycosymbiote, consommateur hétérotrophe.

La mise en évidence des substances carbonées fournies par le photosymbiote au mycosymbiote a été réalisée par Smith en 1961, (*Van-Haluwyn et Lerond, 1993*). Celles-ci sont transformées en mannitol et arabitol par le champignon. Ces molécules de sucres-alcool assurent une pression osmotique élevée qui maintient l'efficacité du thalle vis-à-vis de la dessiccation, protégeant ainsi le photosymbiote de la déshydratation.

Les cyanobactéries ainsi que le champignon sont capables d'assimiler l'azote atmosphérique, sous forme d'ammoniac, grâce au glutamate déshydrogénase, selon un processus métabolique faisant intervenir les deux partenaires. La constitution des espaces intercellulaires des lichens et l'intervention de mécanismes d'absorption actifs et passifs caractérisent leur physiologie et leur permet de capter des substances à partir de l'atmosphère.

Particularités

Plusieurs particularités les différencient des végétaux supérieurs et permettent de les utiliser comme des sentinelles réagissant aux modifications de fond de la qualité atmosphérique :

-  **A) - L'absence de racines**, limitant les interactions avec le support qui rend leur nutrition étroitement tributaire de l'atmosphère,
-  **B) - Ils peuvent accumuler des substances** sur une longue période grâce à leur métabolisme très lent, à une activité continue en toute saison et à une croissance faible, dus à un état de sous-nutrition constant,
-  **C) - L'absence de stomates et de cuticule** accentue leur vulnérabilité si la qualité de l'air décroît, car ils ne possèdent pas de mécanisme de défense lorsque la qualité de l'environnement est altérée,
-  **D) – La présence d'un très fin maillage mycélien** interne les rend aptes à piéger les particules véhiculées par l'atmosphère.

Ces particularités contribuent à leur conférer un grand pouvoir d'accumulation de substances très diverses.

Ce pouvoir d'accumulation est accompagné d'une grande fragilité. D'après Fields (1988), quelle que soit la nature du polluant gazeux (SO_2 , Fluor, Oxydes d'azote), les perturbations de la physiologie des lichens respectent la chronologie suivante : atteinte de la nutrition azotée, fuite d'électrolytes, baisse de la photosynthèse, altération de la respiration, destruction des pigments et mort du lichen.

Utilisation : études de flore et dosages

Les lichens sont regroupés en communautés de groupes d'espèces répondant aux mêmes conditions écologiques. Les peuplements sont alors stables, liés à des biotopes où ils se maintiennent et se reproduisent.

Les modifications de la composition de l'air entraînent des changements dans ces peuplements. Ainsi, l'effet peut être positif sur la croissance de certaines espèces et négatif sur d'autres.

Les méthodes d'étude des peuplements font appel à la phytosociologie, qui étudie la façon dont les plantes sont groupées dans la nature (*selon Touffet 1982*). Aair Lichens à partir de ses propres recherches et de différents

auteurs, a mis au point des méthodes basées sur différents niveaux de perturbation de la qualité de l'air. Par ces méthodes, les modifications de la flore permettent une observation des pollutions.

Des techniques spécifiques des pollutions acides ou azotées sont employées dont celles destinées au suivi des oxydes d'azote (*Li-NOx®*, *Aair Lichens*, brevet du 4/08/2006) ou des pollutions ammoniacales (*Méthode de Lallemant*), par rapport à des flores de référence et à des secteurs témoins.

- **L'étude de la flore**, aborde la systématique des lichens en fonction des caractères identifiables sur le terrain. Des critères chimiques complètent ces identifications, par l'emploi de différents réactifs.

Le calcul de l'Indice Global de la Qualité de l'Air (IGQA®) à partir d'un ensemble de relevés répartis selon une grille de 5 classes de qualité, permet de diagnostiquer les pollutions portant atteinte à la flore lichénique. Cette méthode est indispensable en cas de pollutions multiples et s'applique en situation urbaine, industrielle ou rurale.

- **Les dosages** font appel à des collectes de thalles de lichens selon un protocole rigoureux. Des points de référence sont inclus pour disposer de bruits de fond et y opposer les résultats.

Dans le cas de polluants gazeux (*exemple du SO₂*) les pics de pollution peuvent provoquer des altérations des fonctions physiologiques. La répétition éventuelle de ceux-ci, modifiant la qualité atmosphérique moyenne, aboutira à l'altération définitive des thalles des lichens, dont les capacités de restauration des fonctions vitales seront débordées. Dans cette éventualité la sélection aboutit à une modification de la communauté d'espèces.

Dans le cas de substances accumulables, l'augmentation de la fréquence des pics entraîne une augmentation de la teneur dans le thalle des lichens en élevant significativement la teneur atmosphérique moyenne.

INCERTITUDE DES METHODES

L'incertitude des études de Bioindication lichénique peut être évaluée selon plusieurs approches relatives à la technique de terrain ou aux méthodes employées. L'incertitude varie s'il s'agit d'études de flore ou de prélèvements pour dosages. Pour la technique, elle est localisée à l'observation ou au prélèvement.

- **Les études de flore** sont pratiquées selon des critères destinés à assurer leur reproductibilité. C'est pourquoi un nombre de supports représentatifs d'un lieu est observé. Un nombre minimum de relevés est nécessaire afin de disposer d'un ensemble cohérent.

Lorsque l'échelle de flore utilise un indice lié à une répartition en classes (*cas du calcul de l'Indice Global de la Qualité de l'Air ou IGQA®*), l'incertitude est d'environ 15%. Il s'agit des relevés dont l'IGQA® est proche à 10 % de la limite de la classe à laquelle il appartient.

Lorsque l'échelle de flore est utilisée selon la notion présence/absence (*cas de l'échelle de Lallemant*), des relevés peuvent présenter des résultats inattendus (*moins de 7 %*) et nécessiter un contrôle. Le plus souvent celui-ci confirme la première observation ou précise des conditions écologiques des cas particuliers.

- **Dans le cas des études de Biorétention**, plusieurs incertitudes peuvent se cumuler : celle de la capacité intrinsèque des lichens envers les substances recherchées, celle du prélèvement et l'analytique.
 - La standardisation du matériel lichénique limite l'incertitude car toutes les espèces n'ont pas les mêmes possibilités de rétention pour les mêmes substances. Le prélèvement de populations de lichens est préférable à celui de quelques individus. Cette pratique permet de limiter l'influence des micro expositions et de gommer les différences interindividuelles. Le prélèvement de toutes les tailles de l'espèce sélectionnée permet de lisser les variations liées à l'âge des thalles.
 - L'incertitude analytique est liée aux substances dosées et aux techniques employées. Dans le cas des PCDD/F les laboratoires fournissent leurs résultats avec une incertitude de 15%.

FICHE METAUX ET SOURCES

Métaux	Sources (non exhaustif)							
	Pétrole (raffinage)	Charbon	Automobile – au sens large	Combustion du bois Biomasse	Verrerie	Déchets	Agriculture	Sidérurgie Aciérie Fonderie Cimenterie
V	X (° pétrochimie)	X	°					
Ni	+++	X	+	+ (Ch. Urb.)			+	+ (Aciérie / Sidérurgie)
Cd	X	X	+	+ (Biomasse)	+	+ (UIOM / boues)	° Z	+ (Sidérurgie)
Cr		X	+	+ (Bois et Biomasse)	+			+ (Aciérie / Fonderie)
Sb			X					
Cu		X	X ++	+ (Bois)		+		+ (Aciérie / Sidérurgie)
Pb		+	X ++	++ (Bois) + (Ch. Urb.)	+	+		+ (Sidérurgie)
As			+	+ (Biomasse)	+			+ (Aciérie)
Hg	°			° (Ch. Urb.)		+ (UIOM / crémations)	+	+ (Aciérie / Cimenterie)
Se			+	+ (Bois)				
Zn	++		+++	+++ (Bois) ++ (Ch. Urb.)		++ (incinération)		+ (Aciérie / Sidérurgie)

Données recueillies : + pour les métaux As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn – divers rapports SECTEN et mises à jour par métal CITEPA / ° asef.asso / X Recherches Air Lichens – Ch. Urb. = chauffage urbain / Z : ANSES

FICHE ETM, MISE A JOUR CITEPA 2025

Les éléments proviennent de : CITEPA, Inventaires des émissions de polluants atmosphériques en France (...) et en particulier les rapports des dernières années 2022-2025, formats CEE-NU (UNECE), SECTEN. Les fiches toxicologiques INRS ou INERIS ou certaines réglementations selon les ETM peuvent être présentées ou encore les actualités environnementales.

Il s'agit d'une synthèse succincte et non exhaustive.

ETM	<u>Elément Trace Métallique.</u> Ils peuvent être toxiques pour la biosphère. La plupart étant sous forme particulaire, ils s'accumulent dans l'eau, les sols, les aliments et l'air. 9 métaux lourds sont considérés dans l'inventaire du CITEPA : As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn.
Evolutions récentes	2023 : 7 des 9 métaux lourds surveillés montrent une baisse <u>entre 1990-2023</u> de plus de 70% (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Zn), 98% pour le Pb. Le Se baisse de 34%. Le Cu augmente de 6%. ----- 2019-2020 : baisse due à la crise sanitaire, ayant principalement impacté le secteur des transports et de l'industrie. En 2022, la tendance à la baisse reprend par rapport à 2021 pour la majorité des métaux.
Aperçu de la réglementation (non exhaustif)	<u>Au niveau international,</u> - ETM les plus toxiques (et réglementés) : Hg, Pb, Cd – Convention LRTAP ; Aarhus 1998, 2012 en vigueur 2022. - Convention de Minamata (Hg), 2017 - convention en 2025, France participative. <u>En France,</u> - Arrêtés pour installations classées pour l'environnement : arrêté du 2/02/1998 modifié et arrêtés relatifs aux installations de combustion. Ils limitent les émissions, Valeurs Limites d'Emissions (VLE) : Sb, As, Cd, Cr, Co, Cu, Sn, Mn, Hg, Ni, Pb, Se, Te, Tl, V, Zn. - ETM réglementées en termes de qualité de l'air, faisant l'objet d'un suivi selon la directive 2004/107/CE modifiée : Hg, Pb, Cd et As. - Les ETM, peuvent faire l'objet de surveillance locale près des sites industriels ou de campagnes de mesures ponctuelles. - Selon les travaux OMS 2007, le transport des ETM à longue distance est démontré (ex. 2003, France : Pb 30% proviennent de l'extérieur du territoire européen ; Cd 20% ; Hg : 15%). - Loi 2021-1104 (loi Climat et Résilience), adoptée le 22 août 2021, rendait obligatoire la mise en place de ZFE-m (Zones à Faibles Emissions mobilité) à partir de ≥ 150 000 habitants. <u>L'Assemblée Nationale a voté la suppression de cette obligation le 28 mai 2025.</u>

	Origines (principales sources anthropiques actuelles)	Effets	Evolution
ARSENIC (As)	Combustibles fossiles solides, fioul lourd, carburants, production de verre, métallurgie des métaux ferreux et non ferreux, (bois-énergie, biomasse, usure routes, abrasion pneus et freins) Possède des valeurs limites annuelles par norme de qualité de l'air 2008/50/CE et 2004/107/CE.	Classé cancérigène groupe 1 par le CIRC et est très irritant pour le système respiratoire et la peau	<u>Baisse de 69% 1990-2023. Réduction de :</u> Combustibles minéraux pour la production de verre / Consommation de gaz de hauts fourneaux dans les ateliers d'agglomération depuis 2005 / Combustibles minéraux solides (résidentiel, tertiaire) / dépoussiéreurs - aciéries Disparition quasi-totale de l'ajout d'As lors du process de production de verre (mais peut être émis lors de l'utilisation du verre recyclé). Aciéries électriques => dépoussiéreurs. 93% des émissions énergétiques d'As => combustion du bois.
CADMIUM (Cd)	Combustion de combustibles fossiles solides, fioul lourd, biomasse, incinération de déchets (y compris boues), sidérurgie, métallurgie des métaux non ferreux (production de zinc), production de minéraux non-métalliques et de matériaux de construction. Possède des valeurs limites annuelles par norme de qualité de l'air 2008/50/CE et 2004/107/CE. Toxique pour les reins (UE, règlement 2021/1323 – VLE hebdomadaire de 2,5 µg/kg de poids corporel) Lutte contre Cd : Aarhus 1998 amendé 2012, vigueur 2022	Classé cancérigène groupe 1 par le CIRC et catégorie 1B par l'UE. En poudre : cancérigène groupe 2B, mutagène groupe 2 et reprotoxique groupe 2.	<u>Baisse de 88% 1990-2023 (surtout 2002-2009)</u> Progrès réalisés dans les secteurs industriels (sidérurgie et métallurgie des métaux non ferreux : dépoussiéreurs, évolution de la composition des matières dans ces process). <u>Energie et déchets :</u> baisse liée au traitement des fumées dans les usines d'incinération, avec et sans récupération d'énergie. Plan national santé environnement 2015-2019 (PNSE 3) fait de la prévention aux risques liés à l'exposition aux métaux lourds tels que le Cd une de ses priorités. Part liée aux déchets municipaux et industriels représentait 74% en 1990, 17% en 2023. D'autres combustibles comme bois ont diminué de façon moins rapide : en 2023, 34% des émissions énergétiques de Cd.
CHROME – Chrome VI (Cr)	Majoritairement industrie manufacturière (fonderies de fonte, aciéries électriques, production de verre). Années récentes : énergie est majoritaire, (biomasse, carburants). Forme hexavalente (chrome VI) principalement liée aux combustibles fossiles solides, fioul lourd et biomasse.	Le chrome hexavalent (chrome VI), cancérigène groupe 1, pas les autres formes (chrome III). Le Cr s'accumule peu dans la chaîne alimentaire.	<u>Baisse 92% 1990-2023.</u> Réduction des rejets industriels (sidérurgie => dépoussiéreurs / baisse de l'activité sidérurgique en France depuis les années 90). Renouvellement des installations au bois. 2019-2020 : baisse, crise sanitaire, -10% (surtout industrie manufacturière et transports).
CUIVRE (Cu)	Surtout émis par le secteur des transports (ferroviaires (usure des caténaires) et routiers (usure des plaquettes de frein)) et par les aciéries. 95% des émissions de Cu sont liées aux transports contre 78% en 1990, dont 79% appartenant au transport routier (2023) – accroissement du trafic.	Toxicité chronique par voie orale : foie, reins et estomac. Elle dépend des formes chimiques.	<u>Secteurs à décroissance :</u> - Industrie manufacturière (sous-secteur des métaux ferreux - aciéries électriques : dépoussiéreurs) ; - Transformation de l'énergie, UIOM avec récupération d'énergie (dépoussiéreurs), - Résidentiel/tertiaire, amélioration des équipements individuels brûlant du bois. <u>Tendance à la hausse :</u> Transport : accroissement du trafic routier. 1990-2023 : hausse +6,3%

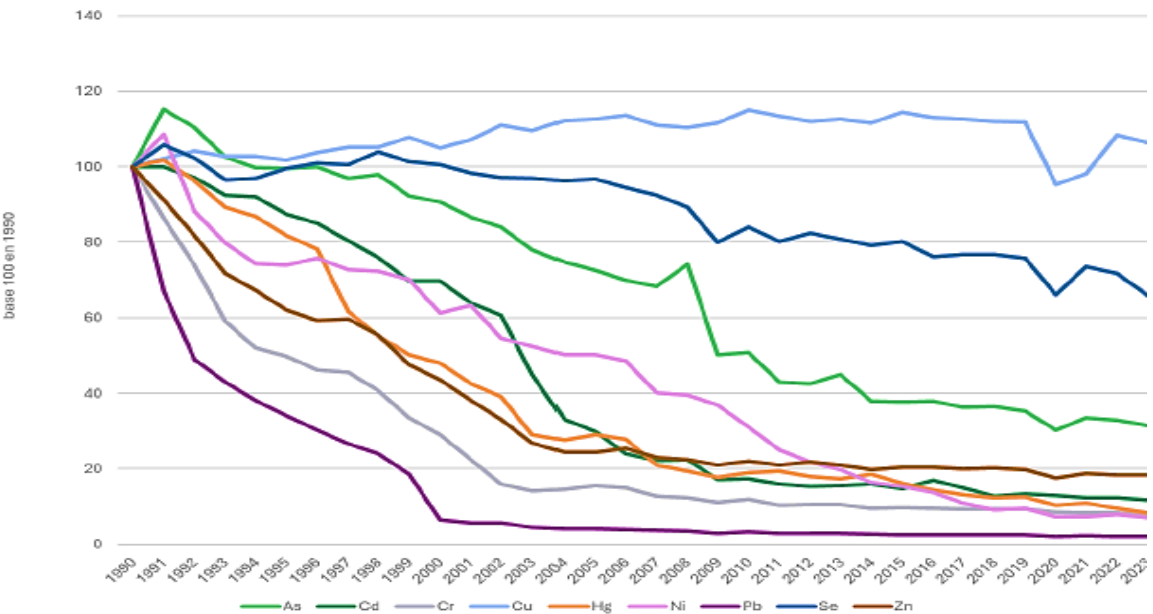
	Origines (principales sources anthropiques actuelles)	Effets	Evolution
MERCURE (Hg)	Principalement émis lors de la combustion des minéraux solides et de biomasse, métallurgie, production de chlore, production d'acier, batteries, incinération des déchets, crémation. Part croissante du transport de 1% en 1990 à 11% en 2023. <i>Lutte contre Hg :</i> Aarhus 1998 amendé 2012, vigueur 2022 Convention de Minamata, ratifiée 15.06.2017 par la France ; convention en mai 2025, participation France.	Reprotoxique de catégorie 1B. Chez l'homme, le mercure élémentaire et le mercure inorganique affectent le système nerveux central et les reins. Mortel par inhalation (ne se rencontre pas dans l'air ambiant).	<u>Baisse 92% 1990-2023</u> - <u>Limitation</u> (piles, thermomètres médicaux) / <u>Procédés de traitement des déchets</u> : incinération des déchets non dangereux avec et sans récupération d'énergie : dépoussiéreurs (Arrêtés 25/01/1991 et 20/09/2002). - Optimisation des procédés de la production de chlore – cf. 2013/732/UE du 9/12/2013. 2019-2020 : baisse crise sanitaire, confinements 2023 : baisse par rapport à 2020 (-18%) Plan national santé environnement 2015-2019 (PNSE 3) fait de la prévention aux risques liés à l'exposition aux métaux lourds tels que le Hg une de ses priorités (auparavant, PNSE 2 2009-2013, Grenelle de l'environnement, réduction des substances toxiques)
NICKEL (Ni)	Emis par la combustion de fioul lourd, autres produits pétroliers, raffinage du pétrole, abrasion des routes, usure des freins, sidérurgie Possède des valeurs limites annuelles par norme de qualité de l'air 2008/50/CE et 2004/107/CE	Classé cancérigène possible pour l'homme (cat. 2B), CIRC. Composés inorganiques peuvent être extrêmement toxiques.	<u>Baisse 93% 1990-2023</u> Réduction de l'utilisation de fioul lourd, baisse de l'activité de raffinage en France (fermeture des raffineries), substitution par du gaz en raffinerie moins émetteur de Ni. Consommation moindre de certains secteurs (houillère, sidérurgie, etc.) + dépoussiéreurs plus efficaces et plus nombreux (secteur sidérurgique). 2019-2020 : baisse -25% 2023 : après hausses, similaire à 2020.
PLOMB (Pb)	Combustion de carburants, fioul lourd, combustibles minéraux solides, biomasse, process de première et seconde fusion du plomb, fabrication de batteries électriques, production de cristal, l'incinération des déchets. Possède des valeurs limites annuelles par norme de qualité de l'air 2008/50/CE et 2004/107/CE <i>Lutte contre Pb :</i> Aarhus 1998 amendé 2012, vigueur 2022	Classé cancérigène possible pour l'homme (2B), CIRC. Composés généralement classés reprotoxiques (H360FD), nocifs par inhalation et dangereux pour l'environnement.	<u>Baisse drastique, le transport routier reste l'un des principaux contributeurs.</u> Arrêt définitif de la distribution de carburants automobiles plombés à partir de 2000. Procédés industriels : réduction des particules et arrêt de la production de plomb de 1^{ère} fusion depuis 2003. 2019-2020 : baisse, crise sanitaire 2022-2023 : après rebond, baisse pour inférieur au niveau de 2020 Plan national santé environnement 2015-2019 (PNSE 3) fait de la prévention aux risques liés à l'exposition aux métaux lourds tels que le Pb une de ses priorités. UE Règlement 2021/1317 Neurotoxicité (enfants), problèmes cardiovasculaires et néphrotoxicité (adultes).
Sélénium (Se)	<u>Avant tout, production de verre.</u> Combustion de fioul lourd, de carburants et de biomasse ; usure des plaquettes de frein et pneus, abrasion des routes (transport routier), production de ciment, métallurgie des métaux ferreux, engrais chimiques.	Peut être très irritant pour le système respiratoire et à l'origine de troubles gastro-intestinaux si inhalé à forte dose.	<u>Baisse 34% 1990-2023.</u> Evolution des émissions est induite par les variations de la production de verre (ajouté au process pour la coloration du verre). La légère hausse constatée dans le secteur des procédés industriels est liée aux émissions non énergétiques issues des huiles dans les moteurs 4 temps. Les émissions suivent la production de verre.

ZINC (Zn)	Transports et surtout transport routier (53% en 2023) (usure des plaquettes de frein, pneumatiques, abrasion routes), combustion de carburants, de fioul lourd, de combustibles minéraux solides et de biomasse, métallurgie des métaux ferreux et non ferreux, incinération des déchets.	Peut être toxique à forte dose (en fonction de sa nature chimique).	Forte baisse. Rejets industriels : sidérurgie – dépoussiéreurs / baisse de cette activité. Performance améliorée des équipements individuels de combustion du bois Depuis 2002 : arrêt de l'activité de Zn de 2 ^{ème} fusion.
------------------	---	---	---

% DU TOTAL NATIONAL EN 2024 EN FRANCE METROPOLITAINE EN %, secteurs CITEPA Données Secten 2025

		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Pb	Se	Zn
1	Industrie de l'énergie dont	6.7%	17.8%	5.5%	0.7%	12.4%	20.4%	3.3%	5.0%	5.5%
	Chauffage urbain	5,4%	2.2%	2.8%	0.2%	1.8%	3.9%	1.7%	2.5%	2.4%
	Valorisation énergétique des déchets	0.2%	8.1%	0.8%	0.4%	1.6%	13.6%	1.1%	0.2%	2.4%
2	Industrie manufacturière/construction dont	33.4%	39.6%	25.2%	1.8%	45.5%	49.3%	29.1%	72.0%	19.1%
	Papier, carton	5%	2.0%	2.6%	0.2%	4.7%	1.6%	1.9%	1.6%	1.8%
3	Traitement centralisé des déchets dont	0.2%	4.9%	0.3%	0.1%	0.4%	7.7%	2.6%	0%	0.5%
	Incinération sans récup. énergie	0.2%	4.9%	0.3%	0.1%	0.4%	6.7%	2.6%	X	0.5%
4	Usage bâtiments et activités résidentiel/tertiaire	26.8%	11.1%	22.2%	2.2%	9.7%	10.4%	19.2%	13.5%	19.3%
5	Agriculture / Sylviculture	1.4%	2.1%	1.1%	0.1%	2.8%	0.9%	0.8%	0.7%	1.3%
6	Transports	31.5%	24.4%	45.7%	95%	29.2%	11.3%	45.0%	8.8%	54.2%
	TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

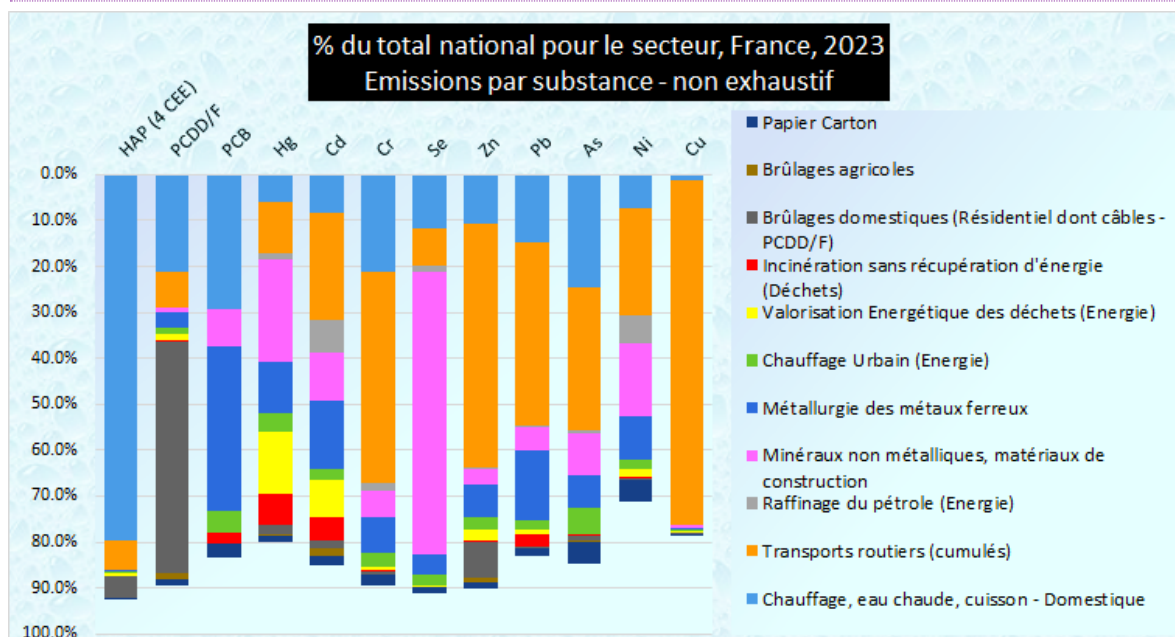
CITEPA, Format Secten 2025, données « Emissions par substance »



Evolution des émissions de métaux lourds entre 1990 et 2023 (base 100 en 1990)

Graphique : Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France au titre de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance et de la directive européenne concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques. Rapport mars 2025, format CEE-NU (UNECE), CITEPA

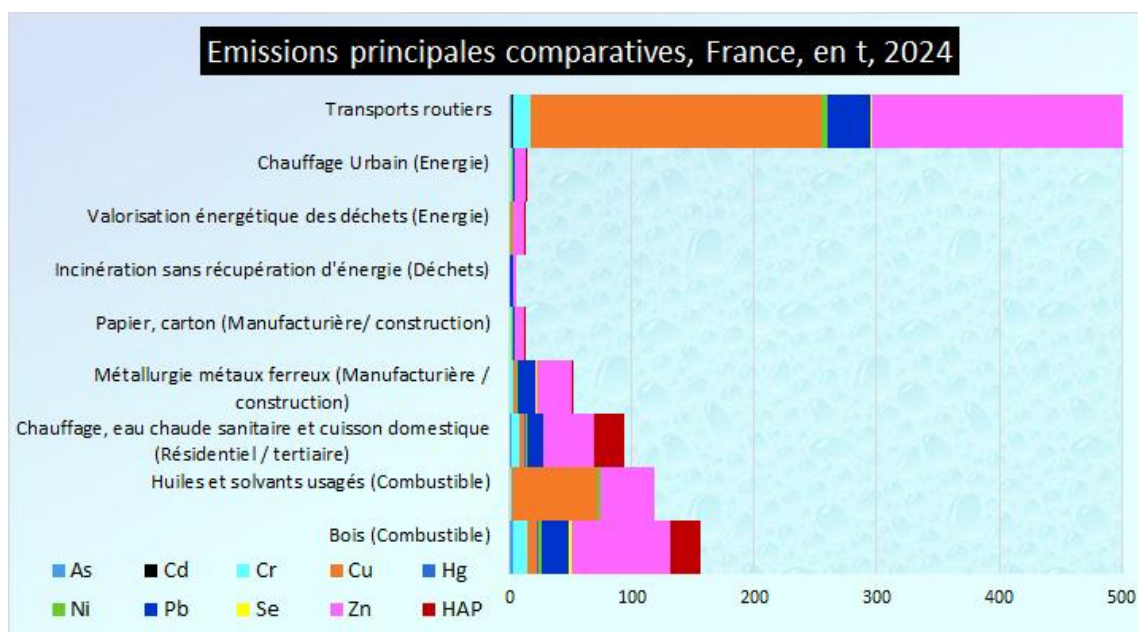
SUBSTANCES ET EMISSIONS PRINCIPALES COMPARATIVES - INFORMATION, SOURCE : CITEPA 2025



Emissions dans l'air en France en % Total national pour le secteur (sous-secteur), 2023, d'après CITEPA format SECTEN 2025, Emissions par substances et par secteurs / les HAP selon CEE-NU : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et indéno(1,2,3)pyrène.

Non exhaustif. **Graphique Air Lichens**

A noter : le secteur résidentiel (brûlage des câbles notamment) influe notablement sur les PCDD/F. Pour les PCB, la métallurgie des métaux ferreux affirme son importance. De manière générale, le sous-secteur « chauffage, eau chaude, cuisson domestique » du résidentiel tertiaire influe fortement, notamment sur HAP, PCB ou encore PCDD/F. Les transports montrent des effets non négligeables.

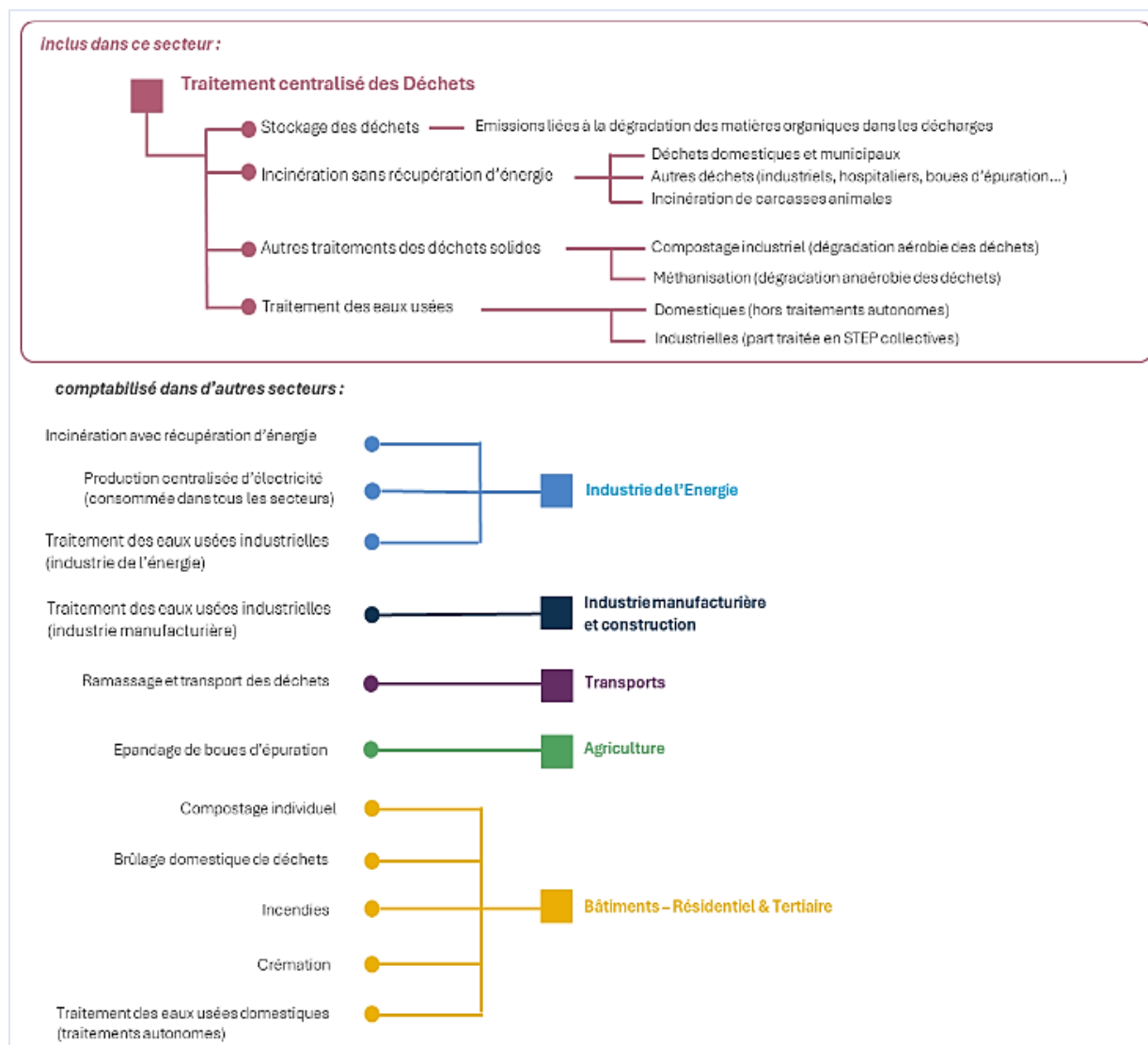


Emissions dans l'air en France en t / secteurs (sous-secteurs), 2024, d'après CITEPA format SECTEN 2025, Emissions par Secteurs puis sous-secteurs / les HAP selon CEE-NU : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et indéno(1,2,3)pyrène.

Non exhaustif. **Graphique Air Lichens**

A noter : En rejets de substances en tonnes, Zn et Cu ou Pb apparaissent fortement pour le Secteur Transports - routiers. Il a d'ailleurs tendance à écraser les autres secteurs. Pour la catégorie « Combustible », les sous-catégories Bois mais aussi Huiles et Solvants usagés peuvent être signalés. Le combustible Bois présente plusieurs substances relarguées.

GESTION CENTRALISEE DES DECHETS, INFORMATION, MISE A JOUR CITEPA 2025



Les émissions du secteur Déchets en France métropolitaine ont globalement diminué sur la période 1990-2023, que ce soit concernant les polluants (essentiellement liés à l'incinération et aux feux de déchets) ou les gaz à effet de serre (essentiellement liés au stockage des déchets et dans une moindre mesure au traitement et rejet des eaux usées). La seule exception concerne l'ammoniac (NH3).

A noter le développement de la filière du compostage et de la méthanisation de déchets ménagers depuis plusieurs années, même si leur impact reste très faible en termes d'émissions.

La prévention de la production des déchets est une priorité inscrite dans le code de l'environnement français. La loi n°2015-992 relative à la transition écologique pour la croissance verte (LTECV) : mesures de lutte contre les gaspillages et promotion de l'économie circulaire en développant le tri à la source et les filières de recyclage et de valorisation.

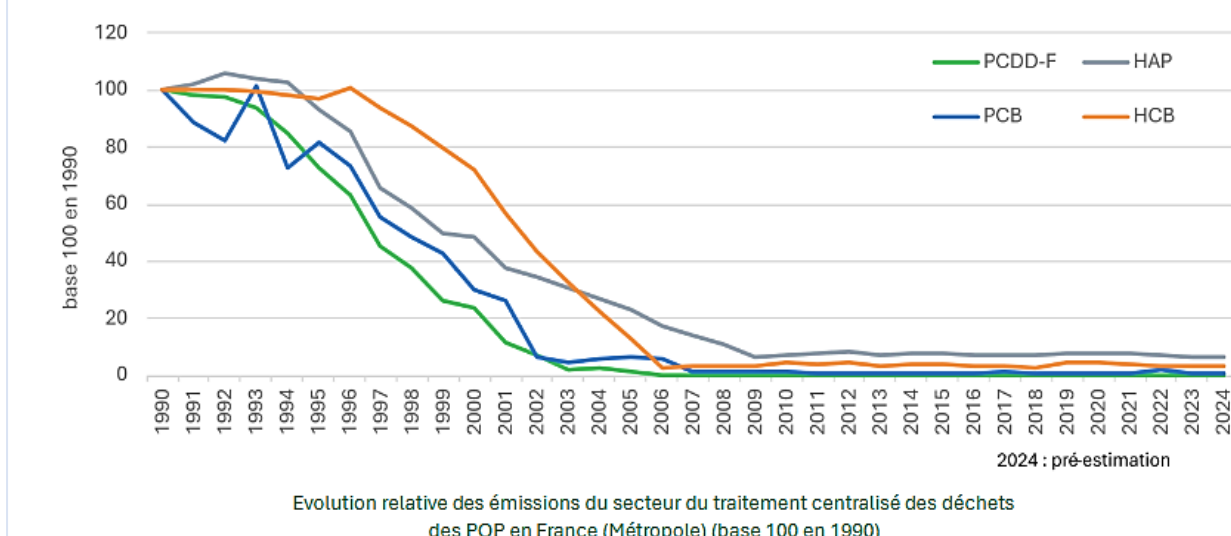
Ou encore le **Plan National de Prévention des Déchets 2014-2020** fixant des objectifs quantifiés, notamment une diminution de 7% de la production de déchets ménagers et assimilés. D'autre part, les émissions de ce secteur sont concernées par les objectifs fixés par la **Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV)** adoptée en 2015.

France => second plus gros producteur de déchets de l'UE (derrière l'Allemagne) avec 345 468 milliers de tonnes de déchets (15,5% du total de l'UE) en 2022 et représente 9,6% de la production de déchets dangereux de l'UE.

En revanche, concernant la quantité de déchets générés par habitant, la France est sixième pour l'UE à 27 pays, à peu près au niveau de l'UE avec 5,1 par habitant.

CITEPA, format SECTEN 2025, Eurostat 2024.

POP | Polluants organiques persistants



CITEPA, format SECTEN 2025

PCDD/F : le secteur déchets représente 51% du total des émissions de PCDD/F en 2023, aux côtés du secteur de l'Energie (rapport UNECE 2025). Les données ci-dessous proviennent du format SECTEN 2025 :

Le secteur du résidentiel/tertiaire est la principale source des émissions de PCDD-F depuis 2005 (72% en 2023) mais une très forte part des émissions (55,8 g I-TEQ) est induite par le brûlage des câbles pour récupérer le cuivre.

Le secteur des déchets contribuait également de façon importante en 1990. La très forte décroissance observée entre 1990 et 2023 fait suite aux progrès réalisés par les incinérateurs de déchets dangereux et non dangereux sans récupération d'énergie mais également à la part croissante de l'incinération de déchets non dangereux avec récupération d'énergie (et donc rapporté dans le secteur énergie). Dans ces incinérateurs de déchets non dangereux, avec ou sans récupération d'énergie, des techniques de réduction ont été mises en œuvre pour respecter les valeurs limites (Arrêtés 25/01/1991, 20/09/2002 relatifs aux déchets non dangereux (ordures ménagères, boues de traitement des eaux, etc.). Elles ont permis, notamment, une réduction de plus de 99% des émissions de cet ensemble de sources, entre 1990 et 2023. Concernant les déchets dangereux, l'arrêté du 20/09/2002 qui leur est dédié a permis une réduction de plus de 90% des émissions liées à l'incinération des déchets industriels dangereux entre 1990 et 2023.

Enfin, les incendies de véhicules représentent une part fortement évolutive des rejets de PCDD-F du secteur des déchets. En effet, en 1990 ceux-ci représentaient moins de 1% des émissions du secteur contre 6,0% en 2023.

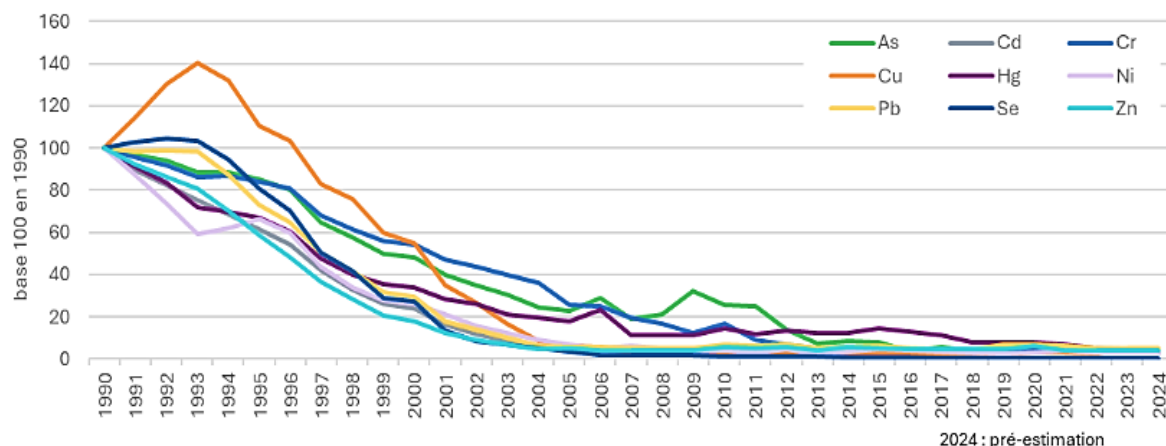
HAP : le secteur déchets est un faible contributeur aux émissions d'hydrocarbures aromatiques polycycliques en France et ne représente que 4% des émissions totales en 2023. (rapport UNECE 2025)

L'incinération de déchets, la crémation et les feux ouverts représentent les principales sources d'émissions polluantes.

PCB : Les émissions de PCB du secteur Déchets sont liées à l'incinération. La très forte décroissance est liée à l'effet combiné des progrès réalisés par les incinérateurs de déchets dangereux et non dangereux sans récupération d'énergie en termes de traitement des fumées (mise en conformité progressive), mais également à la part croissante de l'incinération de déchets non dangereux avec récupération d'énergie (émissions alors rapportées en Energie).

Interprétations CITEPA, format UNECE 2025

Métaux lourds



Evolution relative des émissions du secteur du traitement centralisé des déchets des métaux lourds en France (Métropole) (base 100 en 1990)

CITEPA, format SECTEN 2025

Les données suivantes sont issues des Rapports CITEPA à jour 2025, format CEE-NU (UNECE) et format Secten ainsi que données chiffrées Emissions par substance et par secteurs.

A noter : les « secteurs » selon l'UNECE ou le format SECTEN montrent des différences dans les sous-secteurs et données incluses :

Les trois ETM les plus remarquables en % du total national dans le traitement centralisé des déchets sont, respectivement, les Hg, Cd et Pb.

- **Hg** (7,7% estimés en 2024 / UNECE : déchets – 2^{ème} secteur contributeur sur 5 secteurs pour cet ETM avec 10% en 2023 du total de ses émissions : **incinération des déchets non dangereux avec récupération d'énergie, incinération des boues résiduelles du traitement des eaux usées, casse de lampes fluorescentes (usagées enfouies en installations de stockage), crémation des corps**) ;
- **Cd** (4,9% estimés en 2024 / UNECE : déchets – 4^{ème} secteur contributeur sur 5 secteurs pour cet ETM avec 7% en 2023 du total de ses émissions - **incinération (ordures ménagères avec récupération d'énergie et incinération des boues)** ;
- **Pb** (2,6% estimés en 2024 / UNECE : 3^{ème} secteur contributeur sur 5 secteurs pour cet ETM avec 3% en 2023 du total de ses émissions).
- A noter : pour le **Zn**, bien qu'il ne soit pas le plus remarquable par rapport au total national par % dans le traitement national des déchets, le secteur déchets représente 8% en 2023 pour le total des émissions de Zn (rapport UNECE 2025).

A noter : le secteur de l'Energie comprend la **Valorisation Energétique des Déchets** ou encore le **chauffage urbain (biomasse)**. Certaines données par substance sont donc précisées par le CITEPA dans le secteur de l'Energie au lieu du secteur « Déchets / Gestion Centralisée des Déchets ».

³ CITEPA, formats CEE-NU (UNECE) / Secten, mise à jour 2025 (mix) : « Concernant **la crémation des corps, les émissions de mercure sont liées à la présence de ce composé dans les amalgames dentaires**. Les émissions augmentent depuis 1990 du fait du nombre croissant de corps incinérés. Du fait de l'augmentation probable du nombre de corps incinérés, les émissions à venir devraient continuer à augmenter. Cependant, l'arrêté du 28 janvier 2010 relatif à la hauteur de cheminée des crématoriums et à la quantité maximale de polluants contenus dans les gaz rejetés à l'atmosphère, qui définit une concentration maximum de mercure dans les fumées à respecter au plus tard en 2018, pourrait infléchir cette tendance. De plus, la réglementation européenne (Règlement (UE) 2017/852 du Parlement Européen et du Conseil du 17 mai 2017) et nationale (Décret n°2017-1345 du 18 septembre 2017 portant publication de la convention de Minamata sur le mercure) semble évoluer vers une limitation importante de l'utilisation d'amalgames dentaires contenant du Hg. Ces éléments pourraient conduire à une baisse des rejets de Hg à long terme. ».

ANALYSE ET REGLEMENTATION DES PCDD ET DES PCDF

Les laboratoires auxquels sont fournies les analyses par la société Air Lichens sont accrédités par la Section Essais du COFRAC

➤ Une Norme Européenne est à ce jour publiée sur la détermination des PCDD/F à l'émission [EN 1948] : « Emission de sources fixes – Détermination de la concentration massique en PCDD/F » – Parties 1, 2 et 3, CARSO a intégré les éléments de cette norme et dispose d'un Plan Qualité qui identifie et regroupe les dispositions particulières mises en place au laboratoire pour répondre totalement aux exigences de la norme NF 45001 et aux critères spécifiques développés dans le programme 97/2 – ME 50.

➤ Dans le cas des échantillons agro-alimentaires, les méthodes d'analyse sont conformes aux critères énoncés dans le règlement (UE) n°152/2009 du 27 Janvier 2009 et modificatifs (alimentation animale) et dans le règlement (UE) n° 644/2017 de la commission du 5 avril 2017 (alimentation humaine).

Parmi les 210 congénères possibles de PCDD et PCDF, ne sont considérés comme toxiques que ceux contenant au minimum 4 atomes de chlore en position 2,3,7,8. Par ailleurs, ils n'ont pas tous la même toxicité d'où l'affectation d'un coefficient de pondération (I-TEF = International Toxic Equivalency Factor) à chaque congénère par rapport à la 2,3,7,8-TCDD qui est affectée d'un I-TEF égal à 1.

En Europe, les objectifs visés lors de l'analyse par HRGC/HRMS des PCDD/F sont :

- La quantification des dix-sept congénères toxiques dont la toxicité totale est rendue sous la forme I-TEQ (International Total Equivalent Quantity) en équivalent 2,3,7,8-TCDD.
- La quantification des sommes des séries homologues PCDD et PCDF à partir de 4 atomes de chlore.

Validation de la méthode, exigences du contrôle de la qualité

Des congénères PCDD/F substitués par du chlore en 2,3,7,8 et marqués au $^{13}\text{C}_{12}$ (voire dans certains cas au ^{37}Cl) doivent être ajoutés à l'échantillon à différentes étapes de la procédure.

- Avant prélèvement (dans le cas de mesures à l'émission),
- Avant extraction : ces marqueurs sont des étalons internes de quantification,
- Avant analyse juste avant injection dans le chromatographe.

Ces étalons internes sont supposés être transférés au système analytique sans aucune perte et permettent de déterminer le taux de réapparition (ou les pertes) des congénères ajoutés lors des étapes précédentes (extraction, purification).

Les extractions des solides sont effectuées au Soxhlet par du toluène pendant au moins 24 heures. Les liquides aqueux sont extraits par du toluène ou du dichlorométhane. Trois extractions consécutives doivent être réalisées.

Les méthodes de purification doivent permettre de nettoyer l'extrait de l'échantillon de manière appropriée pour la détermination quantitative qui suit, c'est-à-dire concentrer les PCDD et PCDF et éliminer les composés de la matrice présents dans l'extrait brut donnant des interférences. Les normes donnent des exemples de protocole d'extraction et de purification.

Les méthodes utilisées pour la réduction de volume de solvant doivent être menées avec précaution. Pour atteindre des limites de détection suffisantes, l'extrait purifié doit être concentré jusqu'à un volume de l'ordre de 25 μl à 100 μl avant quantification. Tous les étalons internes sont ajoutés juste avant la procédure de quantification.

Identification et quantification

On utilise la chromatographie en phase gazeuse avec colonne capillaire couplée à la spectrométrie de masse en haute résolution avec la méthode de dilution isotopique. Les paramètres de la chromatographie donnent la position des isomères tandis que la spectrométrie de masse permet de différencier les congénères des dibenzo-p-dioxines et dibenzofuranes polychlorés ayant des degrés de chloration différents. Les normes décrivent des exigences de contrôle de qualité pour l'identification et la quantification, soit :

- L'utilisation de la chromatographie en phase gazeuse haute résolution,
- L'utilisation de la spectrométrie de masse haute résolution égale ou supérieure à 10000,
- La scrutation d'au moins 2 ions,
- Le rapport isotopique entre les ions doit être égal à la valeur théorique +/- 20 %,

- Le temps de rétention d'un isomère natif chlorosubstitué en position 2,3,7,8 doit se situer à l'intérieur d'une fenêtre de temps basée sur le temps de rétention de l'isomère correspondant au $^{13}\text{C}_{12}$ dans l'échantillon,
- Le rapport signal sur bruit doit être d'au moins 3 : 1 pour le signal utilisé pour la quantification,
- La calibration s'effectue avec au moins 5 solutions de calibration contenant tous les PCDD/PCDF natifs et marqués en quantités définies.

La courbe de calibration est utilisée pour calculer les facteurs de réponse relatifs des analyses. Ces facteurs de réponse relatifs sont utilisés en même temps que les congénères marqués au $^{13}\text{C}_{12}$ ajoutés à l'échantillon pour quantifier les PCDD/PCDF natifs par la méthode de dilution isotopique.

Laits, produits laitiers et bovins

Les chaînes agro-alimentaires basées sur l'élevage d'animaux domestiques herbivores sont généralement courtes mais fournissent des produits largement consommés par l'homme.

L'absorption des dioxines par les bovins se fait essentiellement par voie alimentaire : l'air et l'eau apparaissent négligeables. Des études allemandes montrent que l'herbe est la source la plus importante suivie par l'ensilage de maïs, les concentrés et autres aliments apportant une contribution modeste. Les fourrages verts fournissent en effet des surfaces d'adsorption des dioxines plus importantes que les grains de céréales dont sont constitués majoritairement les concentrés. La vitesse de croissance et le format du végétal interviennent également.

Une vache laitière ingère environ 15kg de matière sèche par jour, les quantités de sol ingérées peuvent donc représenter quelques centaines de grammes. (Le cheval, le mouton ingèrent des quantités de terre plus importantes que les bovins.)

Le marqueur privilégié pour effectuer les mesures est le lait dans la mesure où celui-ci est produit à proximité de l'usine et permet d'évaluer un transfert potentiel des dioxines à l'homme via la voie alimentaire. Lors de l'allaitement, les dioxines stockées sont mobilisées et excrétées dans le lait maternel, traduisant surtout l'exposition passée. Diverses études ont montré que plus le pourcentage de lipides dans le lait maternel est élevé, plus le niveau d'HAPC est bas. En France, en 1998, sur 244 échantillons individuels de lait maternel, il apparaît une médiane de 18.80 PCDD/F en pg TEQ_{OMS}/g MG. (Variation de 7.82 à 41.10 PCDD/F en pg TEQ_{OMS}/g MG).

L'élimination des PCDD/F chez la vache laitière est assez rapide : les demi-vies d'élimination globales sont comprises entre 30 et 60 jours. Le mécanisme essentiel d'élimination est l'excrétion dans le lait. Globalement, une diminution progressive des taux est observée en France depuis 1994.

Mais le lait n'est sans doute pas un indicateur suffisamment fin pour évaluer l'impact d'une unité (contrairement aux lichens) : par exemple, l'herbe, l'ensilage et le sol montrent visiblement une majorité de congénères, ce qui n'est pas le cas du lait. De plus, il convient de ne pas imputer à une source tel résultat, en effet, de nombreuses interférences restent fortement possibles notamment les feux de toutes sortes...pouvant avoir un impact sur l'environnement se traduisant notamment par une accumulation dans le lait s'il existe des pâturages au voisinage de ces sources.

Certains aliments peuvent être fortement contaminés. En 1997, des granulés à base de pulpes de Citrus fabriqués au Brésil contenaient des taux de 10 à 30pg TEQ/g MS, le lait des vaches ayant consommé ces aliments présentaient des taux de 7 MG ce qui a conduit à l'interdiction d'importer ces pulpes et à la destruction des stocks, un seuil de 0.5 MS ayant été fixé.

Les études laissent apparaître que les corrélations entre émissions et concentrations dans le lait ne sont pas simples ce qui est confirmé par l'analyse des profils des congénères de dioxines qui sont différents entre la source d'émission et celui retrouvé dans le lait des vaches paissant à proximité de cette source. Pourtant, la contamination des laits à partir des usines sidérurgiques montre une certaine dominance des congénères octachlorés. Et, on observe une décroissance nette de la concentration en dioxines dans le lait à partir du moment où la source d'émission a été stoppée. (INVS, 2003)

- Les teneurs maximales dans le lait sont déterminées par le **Règlement UE 2023/915** abrogeant le Règlement 1881/2006 (seuils d'intervention : recommandation UE 2014/663), lui-même **modifié et rectifié par le Règlement 2024/1756 du 25 juin 2024** ou **UE 2023/915 version consolidée 01/07/2025 – vérifié au 15/08/2025**.

La Dose Tolérable

L'avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) du 17 mars 1998, sur les dioxines et furanes donne les recommandations suivantes :

- "Une exposition journalière inférieure à 1 pg I-TEQ/kg exclut à priori tout risque pour la santé publique",
- Une exposition journalière supérieure à 10 pg I-TEQ/kg pendant une longue période est considérée comme pouvant entraîner des risques d'effet néfaste,
- Une exposition journalière à long terme entre 1 et 10 pg I-TEQ/kg ne semble pas entraîner de signes avérés de toxicité chez l'homme mais ne donne pas une marge de sécurité suffisante pour exclure tout risque pour certains segments de la population.

L'OMS a indiqué le 3 juin 1998, une nouvelle dose journalière admissible entre 1 et 4 pg I-TEQ/kg de poids corporel (1 picogramme = 10^{-12} gramme). L'OMS recommande une dose mensuelle tolérable (DMTP) de 70 pg I-TEQ/kg de poids corporel pour assurer une protection à long terme de la santé des personnes.

En fait, la dose tolérable a évolué au cours du temps : de dose journalière, elle est devenue une dose hebdomadaire tolérable (avis du Scientific Committee on Food au niveau de la commission européenne du 22 novembre 2000) de 14 pg TEQ OMS/kg de poids corporel (fixée par la CE en 2001).

Le 20 novembre 2018, l'EFSA publie un communiqué (<https://www.efsa.europa.eu/fr/press/news/181120>) mettant à jour le niveau hebdomadaire tolérable (DHT) de dioxines et PCB-DL à 2pg/kg de poids corporel, soit une DHT sept fois inférieure à l'ancienne de 2001. A l'origine de ce changement : de nouvelles études épidémiologiques et des techniques de modélisation plus pointues permettant de prédire les effets et ce sur le long terme. A l'heure actuelle, les données qui ont été recueillies en Europe montrent que tous les groupes d'âge dépassent la nouvelle DHT.

Réglementation récente (non exhaustif)

- Directive 2010/75/UE du Parlement Européen et du Conseil du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution) (refonte) (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE) (JOUE 17.12.2010 L 334/17).
- La réglementation européenne évolue et modifie en décembre 2011 les valeurs des équivalents toxiques, ou I-TEF, des congénères de dioxines et furanes. Ces modifications entraînent, par rapport aux calculs précédents basés sur les I-TEF de 1998, des baisses de la toxicité théorique exprimée en I-TEQ ou Indice de Toxicité appliqué aux échantillons ou matrices alimentaires surveillées. En supplément de ces modifications d'évaluation de la toxicité, la nouvelle réglementation intègre la surveillance des PCB dits Dioxin-Like (PCB-DL) et éventuellement des PCB dits Non-Dioxin-Like (PCB-NDL). Il s'ensuit une prise en compte d'une quantité accrue de molécules. **Ces surveillances sont imposées aux matrices alimentaires. Le règlement CE 1881/2006 est ainsi régulièrement modifié jusqu'à être abrogé en 2023 et remplacé par le Règlement 2023/915 lui-même régulièrement amendé et consolidé / vérifié au 15.08.2025.**
- Réglementations pour les dioxines et PCB dans les denrées alimentaires destinées aux animaux, règlements UE 277/2012 (28 mars) et UE 744/2012 (16 août) ; arrêté du 30 octobre 2013. Vérifié 17.12.2024.
- 2013/711 : Recommandation de la commission du 3 décembre 2013 sur la réduction de la présence de dioxines, de furanes et de PCB dans les aliments pour animaux et les denrées alimentaires (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE)
- **Recommandation 2014/663** de la Commission du 11 septembre 2014 modifiant la recommandation 2013/711/ sur la réduction de la présence de dioxines, de furanes et de PCB dans les aliments pour animaux et les denrées alimentaires (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE).
- Règlement UE 2019/1021 du Parlement Européen et du Conseil du 20 juin 2019 concernant les polluants organiques persistants (refonte) (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE), il abroge le règlement CE n°850/2004. Version consolidée 17.10.2024 – vérifié 17.12.2024.
- **Règlement (UE) n°2023/915 de la Commission du 25 avril 2023 abrogeant le règlement CE 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE). – PCDD/F, ETM, HAP, etc, modifié et rectifié notamment par le Règlement 2024/1756 du 25 juin 2024 – laits, oeufs. Version consolidée 01.07.2025 (vérifié 15.08.2025).**

FICHE PCDD/F, MISE A JOUR CITEPA 2025

PCDD/F	Appartient Aux POP (Polluants Organiques Persistants – Convention de Stockholm 2019). Composés aromatiques polycycliques halogénés, chlorés pour les PCDD, hétérocycle aromatique pour les PCDF. polychlorobenzodioxines (PCDD) ET polychlorodibenzofuranes (PCDF). Les PCDD comportent 75 congénères ⁽¹⁾ (419 composés apparentés à la dioxine – 30 ayant une toxicité arquée) et les PCDF 135 congénères. Exprimés en « Equivalents Toxiques Internationaux » ou I-TEQ/TEF ⁽²⁾
Persistance et demi-vie	Très stables chimiquement, peu biodégradables, les dioxines persistent dans l'environnement et les êtres vivants dans lesquels elles s'accumulent, l'ingestion étant la principale voie de contamination. Demi-vie est d'environ sept ans dans l'organisme humain.
Formation	Principalement formées par la combustion à haute température des déchets et des combustibles. On les retrouve également dans certains procédés chimiques (synthèse de produit chlorés) et le blanchiment de la pâte à papier. Chlore et catalyseur comme cuivre ou fer sont une condition de formation.
Emissions	<u>Sources naturelles</u> : feux de forêt ; éruptions volcaniques. <u>Sources anthropiques</u> : Procédés industriels / Combustion incomplète. Incinération de déchets, brûlage de câbles, combustion de combustibles minéraux solides, de carburants et de biomasse ; métallurgie des métaux ferreux (production d'agglomérés et cokeries) et autres (production de papier, synthèse de produit chlorés, blanchiment de la pâte à papier).
Effets (Bref résumé)	CIRC => PCDD/F=> « cancérogènes pour l'être humain ». Augmentation du nombre de cancers pour ceux exposés à la dioxine la plus toxique : la 2,3,7,8 TCDD (aussi « dioxine Seveso »). Une exposition brève à de fortes concentrations => possibles lésions dermiques, formation de taches sombres sur la peau ; altération de la fonction hépatique. Longue durée => dégradation du système immunitaire, du développement du système nerveux, perturbateurs endocriniens et des fonctions génésiques. 20 novembre 2018 => EFSA => diminuent la qualité du sperme, stimulent la thyroïde des nouveau-nés, perturbent le développement de l'émail dentaire... <u>DJT (Dose Journalière Tolérable) : OMS</u> . 1 à 4 pg I-TEQ par kg de poids corporel /j. Objectif final : réduire la dose de dioxines chez l'homme à moins de 1 pg I-TEQ par kg de poids corporel/j.

⁽¹⁾ **Congénère** : les carbones possédant un atome d'hydrogène peuvent être remplacés par un atome d'halogène (chlore ou brome essentiellement) et vont former des composés possédant le même squelette mais un nombre variable d'hydrogène.

⁽²⁾ **I-TEQ** : « Equivalents Toxiques » (TEQ) exprime la toxicité relative de chaque composé moins toxique en tant que fraction de la toxicité du TCDD le plus toxique. Chaque composé a un « Facteur d'Equivalence Toxique ». Ce coefficient de pondération indique le degré de toxicité par rapport au 2,3,7,8-TCDD, auquel une valeur référence de 1 a été donnée. Pour calculer le TEQ global d'un mélange de dioxines par rapport au TCDD, les quantités de chaque composé toxique sont multipliées par leur Facteur TEQ respectif, et ensuite additionnées.

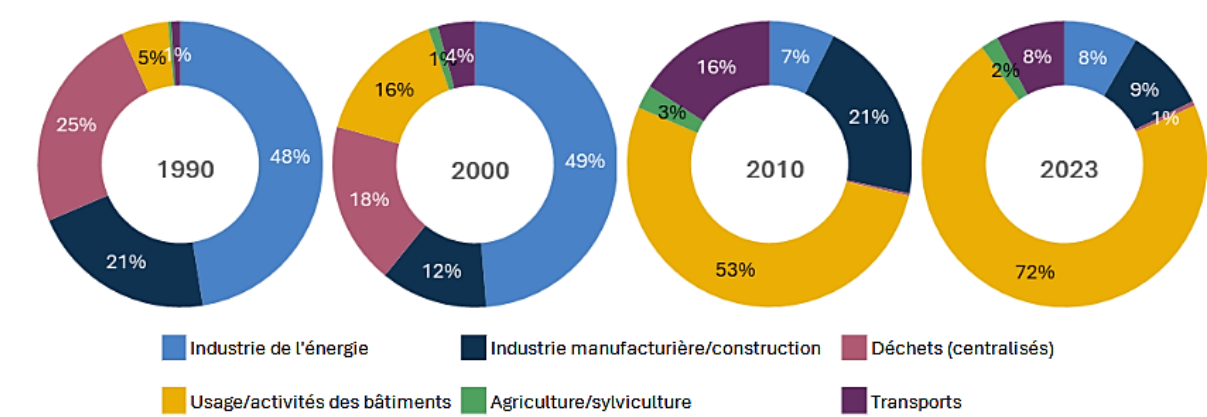
SECTEURS D'EMISSIONS EN FRANCE – CITEPA (SECTEN ET UNECE) – A JOUR 2025

Tous les secteurs contribuent dans des proportions variables. **Les émissions sont très différentes de ce qu'elles étaient en 1990 grâce à une très forte baisse des émissions de certains secteurs.**

Usage des bâtiments et Résidentiel / Tertiaire	Principale source des émissions de PCDD-F depuis 2005 malgré une baisse par rapport à 1990 (71,9% des émissions en PCDD/F en 2023 et 2024) dont 55,8g I-TEQ par le brûlage des câbles pour récupérer le cuivre. Activité illicite, elle est difficile à quantifier (associée à une forte incertitude) et pour laquelle l'activité est considérée constante.
Déchets (transformation d'énergie)	Transformation d'énergie et Déchets : forte décroissance depuis 1990, liée à la mise en conformité de l'incinération des déchets avec récupération d'énergie ; incinérateurs de déchets dangereux et non dangereux sans récupération d'énergie ; incinération de déchets non dangereux avec récupération d'énergie. Mise en place des techniques de réduction pour répondre à la réglementation : <u>arrêtés du 25 janvier 1991 et du 20 septembre 2002 relatifs aux déchets non dangereux</u> (ordures ménagères,

	boues de traitement des eaux, etc.) et <u>dangereux</u> : entre 99%-90% de réduction 1990-2023, respectivement. <u>L'industrie de l'énergie émet 8,3% des émissions nationales en 2023 et 2024 ; le traitement centralisé des déchets : 0,5% (2023, 2024).</u>
Industrie manufacturière et construction	Baisse observée liée à la baisse d'activité du secteur de la métallurgie des métaux ferreux et de la mise en place de techniques d'abattement. En 2012, le niveau d'émission est le plus bas observé depuis 1990, suite en partie à la fermeture fin 2011 du site sidérurgique de Florange. La baisse importante observée entre 2015 et 2016 est liée à une forte réduction des émissions dans plusieurs sites d'agglomération de minerais. <u>La part du secteur est de 9,4% en 2023 et 10% en 2024.</u>
Part des émissions liées aux combustibles	Principalement issus <u>de procédés non énergétiques et de la combustion de déchets</u> municipaux et industriels. En 1990, leurs émissions cumulées : 97% des émissions du territoire national. Depuis 1997, cette situation évolue et la part cumulée décroît fluctue entre 61% et 69%. <u>La part des émissions liées à l'utilisation du gazole et du GNR a largement évolué sur la période 1990-2022. Entre 1990 et 2012, on enregistre une augmentation de 1% à 14% des rejets totaux de PCDD-F puis diminution régulière depuis 2013, représentant aujourd'hui 6% des rejets nationaux. Les « transports » émettent 7,8% du total national en 2023, 7,3% en 2024.</u>
France ?	<u>En 2023, les émissions de la France montrent une baisse de 93% par rapport à 1990.</u> Protocole d'Aarhus (ou « Protocole POP »), adopté le 25 juin 1998 dans le cadre de la Convention de Genève sur la pollution transfrontalière longue distance sous l'égide de la CEE-NU ou UNECE en anglais, entré en vigueur le 23 octobre 2003, amendé en 2009, oblige à réduire émissions de PCDD/F, HAP et HCB en deçà de leurs niveaux de 1990. En France, pour les rejets de PCDD/F => obligation d'émettre moins de 1 801 g-ITEQ par an. En 2023 : France émettait 119 g I-TEQ. Variabilité saisonnière des concentrations (« Programme de surveillance des Dioxines, Furanes & Métaux lourds » Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (AASQA)) : plus élevées en automne/hiver (chauffage au bois, météo peu stable favorisant une accumulation dans les basses couches).

Principaux secteurs émetteurs



Graphe : source CITEPA format Secten 2025 – Répartition des émissions de PCDD/F en France.

Le paragraphe suivant provient de : *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France au titre de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance et de la directive européenne concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques. Rapport mars 2022, format CEE-NU, CITEPA. Il est répété depuis : Format Secten éd. 2023, 2024, 2025.*

« Les baisses les plus significatives des émissions de PCDD-F sont attribuées principalement à l'incinération des déchets (avec et sans récupération d'énergie), et aux procédés énergétiques industriels (sidérurgie, métallurgie). La forte baisse constatée dans les secteurs de l'énergie et des déchets s'explique par la mise en place de traitements des effluents atmosphériques sur les installations d'incinération avec et sans récupération d'énergie, afin de respecter les nouvelles valeurs limites en PCDD-F définies dans l'arrêté du 20 septembre 2002 (directive européenne 2000/76/CE). »

FICHE PCB, MISE A JOUR CITEPA 2025

PCB	Appartient aux POP (Polluants Organiques Persistants – Convention de Stockholm 2019). Composés aromatiques organochlorés avec 12 atomes de carbone et entre 1 à 10 atomes de chlore. 209 congénères dont : 12 composés sont considérés « dioxin like » (de type dioxine) ; 7 sont PCB I (indicateurs) dont le PCB 118 qui est compris à la fois dans les PCB DL et PCB I. Les PCB -NDL (Non Dioxin Like / pas de type dioxine) sont au nombre de 6.
Persistance et demi-vie	Ubiquitaires et persistants (demi-vie de 94 jours à 2 700 ans selon les molécules). Comme les PCDD/F, les PCB sont liposolubles, contaminants bioaccumulables fréquemment trouvés dans les tissus gras chez l'humain (dont le lait maternel) et tout au long de la chaîne alimentaire.
Formation	Ont été utilisés, entre autres, comme réfrigérants et lubrifiants dans les transformateurs, les condensateurs et d'autres équipements électriques, car ils ne brûlent pas facilement et sont de bons isolants. Ils ont été utilisés pour leurs propriétés diélectriques. Ce sont aussi des produits de combustion.
Emissions	<u>Sources anthropiques</u> : métallurgie des métaux ferreux (aciéries électriques) ; production d'électricité ; incinération de déchets ; combustion de biomasse et de combustibles minéraux solides ; traitement des déchets (principalement jusqu'en 2003). <u>De nos jours, en France, les émissions atmosphériques de PCB sont principalement dues soit à une formation accidentelle dans les divers procédés de combustion, soit à l'élimination de produits ou matériaux contenant des PCB.</u>
Effets (Bref résumé)	CIRC => PCB=> « cancérogènes pour l'être humain », Groupe 2A . Cancers hépatobiliaires (cancer du foie, cancer des voies biliaires, cancer du pancréas). Toxicité variable. Le PCB 126 a été classé cancérogène certain. Toxiques, écotoxiques et reprotoxiques (y compris à faible dose en tant que perturbateurs endocriniens). Comme pour les PCDD/F, contamination de l'air, des sols, de l'eau, des sédiments et de la chaîne alimentaire.

SECTEURS D'EMISSIONS EN FRANCE – CITEPA (SECTEN ET UNECE) – A JOUR 2025

Le niveau d'émission global a baissé de 83% entre 1990 et 2023.

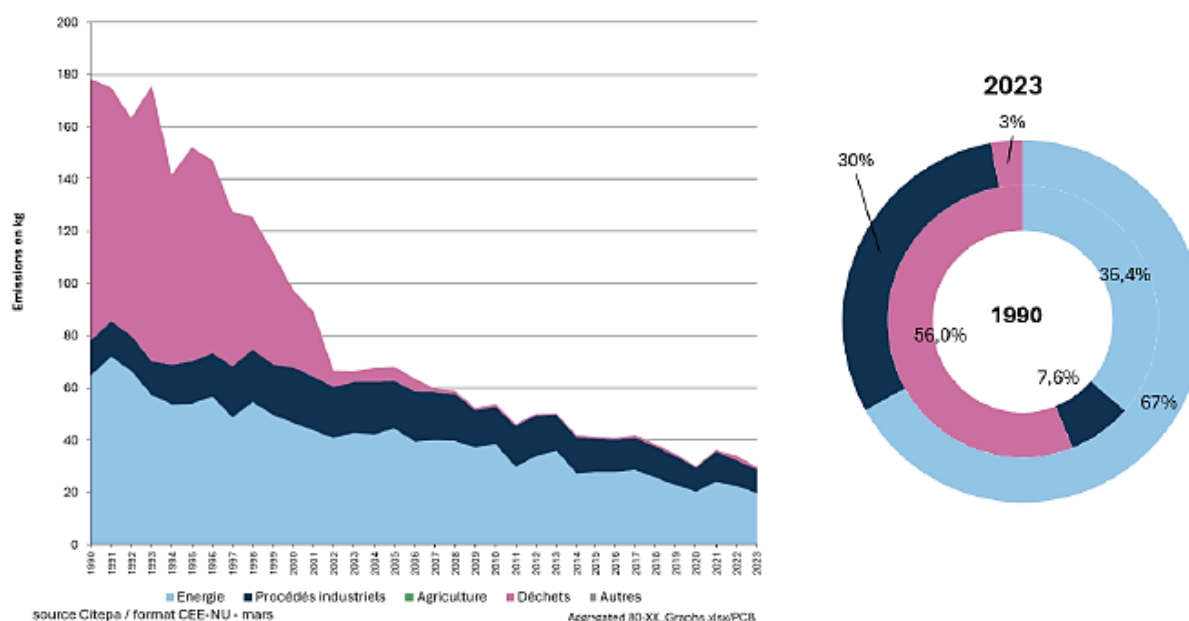
L'incertitude quantitative liée à ce polluant est de 45,6%

Deux secteurs contribuent principalement aux émissions de PCB avec une baisse importante du traitement centralisé des déchets depuis 1990 (plus de 99%). Données émissions par substance, Secten 2025 :

- Industrie manufacturière (56,8% en 2023, 58,9% en 2024)
- Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires (32,8% en 2023, 31,5% en 2024)
- Industrie de l'énergie (7,1% en 2023, 6,3% en 2024)
- Traitement centralisé des déchets (2,4% en 2023, 2,3% en 2024).

Industrie manufacturière	Emissions proviennent essentiellement de <u>la métallurgie des métaux ferreux</u> . En 2023, 63% des rejets de ce secteur. La baisse de plus de 70% des émissions du secteur est principalement liée à la <u>décroissance très importante des émissions du sous-secteur de la chimie (plus de 97%), dans lequel sont rapportées les émissions de l'incinération in-situ des déchets industriels dangereux</u> . Concernant la métallurgie, la baisse des émissions est plus modérée (1990-2023 : 44%). Les émissions de ce sous-secteur sont en diminution constante depuis 2010.
Résidentiel / tertiaire	Emissions proviennent principalement du résidentiel et la baisse des émissions fait suite à une réduction de la consommation de charbon.
Transformation d'énergie	Principale source d'émission de ce secteur est la <u>production d'électricité</u> . Depuis 1990, émissions divisées par 10 en raison en particulier des <u>traitements des effluents atmosphériques sur les</u>

	installations d'incinération avec récupération d'énergie, (arrêté du 20/09/2002 : directive européenne 2000/76/CE), qui impactent également les émissions de PCB.
Traitement centralisé des déchets	Baisse importante des émissions depuis 1990 (plus de 99%) imputable à - Installations de traitement des déchets industriels dangereux et non dangereux (arrêté 20/09/02) - Incineration de déchets hospitaliers => baisse des quantités incinérées (+ arrêté 20/09/02). En 1990, la combustion des déchets représentait 54% des émissions nationales de PCB. Aujourd'hui la combustion des déchets est responsable de 1% à 5% des rejets de PCB en France, selon les années.
Part des émissions liées aux combustibles	Combustibles fossiles solides : depuis 1990 une place relativement importante dans les émissions de PCB malgré leur baisse constante. Diminution de la consommation de charbon des centrales électriques françaises (2019-2020). La hausse de la consommation de <u>charbon</u> en 2021 a entraîné une hausse des émissions associées (12% du total). En 2023 : 6% des émissions nationales. Combustion du bois : la part de ces dernières dans les émissions totales est passée de 6% en 1990 à 41% en 2023. En réalité stable, la part de la combustion du bois en % montre l'effort de diminution générale des émissions nationales ce qui, tout en étant stable le fait passer comme davantage contributeur en comparaison des autres.



Evolution et répartition des émissions de PCB en France métropolitaine

Graphique : source CITEPA format Secten 2025

Le paragraphe suivant provient de : CITEPA, format SECTEN et/ou UNECE, éd. 2025.

« Evolution récente :

Ces dernières années, en France, les émissions atmosphériques de PCB sont principalement dues soit à une formation accidentelle dans les divers procédés de combustion, soit à l'élimination de produits ou matériaux contenant des PCB.

Le secteur résidentiel/tertiaire contribuant à ce polluant, comme pour d'autres POP, les fluctuations interannuelles de l'indice de rigueur climatique impactent les évolutions interannuelles de ces émissions. »

FICHIERS D'ANALYSES ET EXPLOITATION

Les fiches d'interprétation des dosages et de prestation intellectuelle incluses dans les annexes sont issues de la recherche d'AAIR LICHENS et de son savoir-faire.

Les dosages sont effectués par CARSO