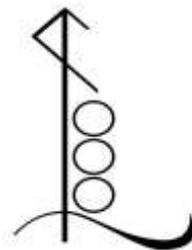


Diagnostic environnemental
Expertises de la Qualité de l'Air
Etudes d'impacts



2021

Rapport de surveillance annuelle

SUEZ RV Energie

Mont-Blanc – Passy (74)

A22-1286

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

PCB-DL dans les lichens

Métaux lourds (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'Usine Suez RV Energie de Passy

RAPPORT DE MISSION

	DATES	AUTEUR
PRELEVEMENTS	JUILLET 2021	Dr Ph. Giraudeau
PREPARATION TRAITEMENT	JUILLET 2021	Viviane Trossail
ANALYSES	AOUT - SEPTEMBRE 2021	CARSO
EXPLOITATION DES DONNEES	OCTOBRE 2021	Equipe Air Lichens
RAPPORT	OCTOBRE 2021	Equipe Air Lichens, Dr P. Giraudeau
VERIFICATIONS	OCTOBRE 2021	Fanny, Dr en Sciences de l'Information et de la Communication
VALIDATION	OCTOBRE 2021	Dr Ph. Giraudeau

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	13
BASES TECHNIQUES D'INTERPRETATION	15
LOCALISATION	18
RESULTATS PCDD/F & PCB-DL	24
PCDD/F DANS LES LICHENS - Li-Diox®	24
RESULTATS ET INTERPRETATIONS	26
EVOLUTION.....	29
PCB-DL & PCDD/F + PCB-DL DANS LES LICHENS	37
RESULTATS ET INTERPRETATIONS	37
EVOLUTION.....	43
RESULTATS ETM	45
RESULTATS ET INTERPRETATIONS	45
EVOLUTION.....	48
IDENTIFICATIONS VISUELLES	54
BIOSURVEILLANCE	61
SAVOIR-FAIRE / PRELEVEMENTS	62
ORIGINE DES LICHENS TEMOINS.....	64
LA SOCIETE AAIR LICHENS	65
MARQUES ET BREVET	69
NORMES AFNOR ET CEN	72
GLOSSAIRE	74
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	76
ANNEXES	80
LES LICHENS - BIOINDICATEURS	80
FICHE ETM, SOURCE : CITEPA 2021	82
ANALYSE ET REGLEMENTATION DES PCDD ET DES PCDF	88
FICHE PCDD/F, MISE A JOUR CITEPA 2021	91
FICHE PCB, MISE A JOUR CITEPA 2021	93
RAPPORTS D'ANALYSES ET EXPLOITATION	95

REMERCIEMENTS

► Nous remercions SUEZ RV ENERGIE Mont-Blanc à Passy (74) et sa Direction de l'Environnement pour la confiance témoignée envers des méthodes de surveillances environnementales fiables et reproductibles (procédés exclusifs Air Lichens).

► *Nous remercions aussi les représentants de l'Etat, les acteurs locaux apportant leur soutien au suivi environnemental.*

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 Air Lichens sans autorisation.

Les données ont été acquises par le savoir-faire et les recherches d'Air 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'Air 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 surveillance annuelle est intégrée dans un programme de suivi environnemental sur la base de dosages de polluants dans les lichens.

CHRONOLOGIE

- ▶ Campagne de prélèvements : 7 juillet 2021.
- ▶ Le laboratoire CARSO, agréé et certifié COFRAC, qui travaille avec Air Lichens, a accusé réception des échantillons préparés pour l'analyse le 11 août 2021.
- ▶ Les derniers résultats sont parvenus à la société Air Lichens le 30 septembre 2021.

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 Coursus of Biomonitoring, Botanical Garden of Helsinki (Finland),
 - * Membre de l'Association Française de Lichénologie (AFL) et de l'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 associé.



L'ESSENTIEL

Le suivi environnemental autour de l'usine SUEZ RV Energie Mont-Blanc à Passy (74) est annuellement basé sur des mesures de PCDD/F, PCB-DL et ETM dans les lichens (7 emplacements pérennes).

Dioxines et furanes (PCDD/F)

L6-Servoz et L4-Près Chapeau montrent des VS* en OMS 1998, celle de L4 est faible, celle de L6 représente 17,5% du seuil d'alerte (3,5 ng/kg TEQ OMS 1998) ce qui ne nécessite aucune recommandation.

Une décroissance d'ensemble est notée au long terme (2012-2021).

L'analyse logarithmique des congénères montre que la courbe de L4-Près Chapeau retrouve un profil moins furanique et atypique qu'aux années précédentes.

PCB Dioxin Like (PCB-DL)

L6-Servoz est remarqué, à une légère significativité. Entraînés à la fois par ses VS en PCDD/F et PCB-DL, il est aussi noté en PCDD/F + PCB-DL. C'est le seul, et la première fois au moyen terme que L6-Servoz est significatif sur ces polluants. De nombreux travaux (diverses constructions) ont été notés lors des prélèvements ce qui peut avoir une influence.

Retombées métalliques (ETM)

Une hausse de 30% de la charge métallique globale est constatée entre 2019 et 2021.

En 2021, 4 métaux sont significatifs : Cu, As, Sb et Zn.

Les valeurs se maintiennent dans des taux bas et les ETM VS sont visibles entre 1 à 2 emplacements.

En 2021, quelques significativités sont remarquées que ce soit en PCDD/F, PCB-DL ou ETM. Elles sont peu nombreuses et à des résultats restant faibles. Il sera noté que L6-Servoz n'est pas l'emplacement le plus proche de l'usine mais qu'il peut subir ponctuellement d'autres influences.

*VS : Valeur significative



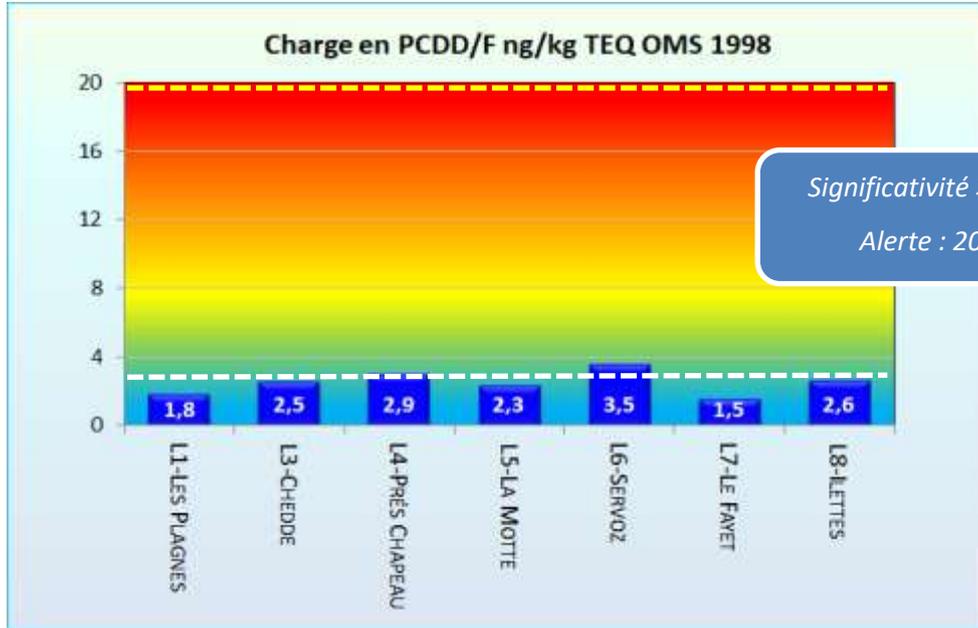
TABLEAU VISUEL – Lichens

TABLEAU VISUEL - SUEZ RV ENERGIE MONT-BLANC PASSY - 2021

CONFORME Compatible avec le bruit de fond selon la base de données Air Lichens (B.d) DEPASSEMENT Supérieur à la 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.																	
2021	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	1,8	1,6	1,2	2,8	1,5	1,9	8,0	0,8	0,06	2,2	0,28	1,5	0,39	32	0,06	< L.q	55
L3-Chedde	2,5	2,2	0,7	2,9	2,2	2,4	9,8	1,0	0,15	5,2	0,49	2,4	0,49	29	0,05	< L.q	64
L4-Prés Chapeau	2,9	2,6	0,7	3,3	2,8	2,8	10,4	1,4	0,24	6,1	0,63	2,6	0,77	42	0,05	< L.q	94
L5-La Motte	2,3	2,1	1,0	3,0	1,2	1,4	14,1	0,6	0,10	2,7	0,29	1,3	0,34	26	0,05	< L.q	49
L6-Servoz	3,5	3,2	1,4	4,6	3,1	3,1	12,8	2,3	0,13	10,7	0,51	4,4	0,77	38	0,13	< L.q	64
L7-Le Fayet	1,5	1,4	0,5	1,9	1,5	2,2	6,7	1,0	0,09	2,1	0,28	1,6	0,41	32	< L.q	< L.q	40
L8-Ilettes	2,6	2,3	0,8	3,1	1,9	2,6	11,9	1,0	0,05	2,6	0,71	1,9	0,52	36	0,10	< L.q	51
Bruit de fond	< 2,0		< 0,9	< 2,9	< 3,5	< 4,0	< 9,0	< 1,5	< 0,20	< 9,0	< 0,50	< 4,0	< 0,80	< 120	< 0,15	0,0	< 50
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
A surveiller	10 - 19		15 - 19		50		200		0,70	70				1000	0,50		500
Valeur alerte	20						600		1,00	100					1,00		
PCDD/F : ng/kg TEQ	PCB-DL : ng/kg TEQ								ETM : mg/kg								
PCDD/F + PCB-DL : ng/kg TEQ OMS 2005																	

RESUME VISUEL

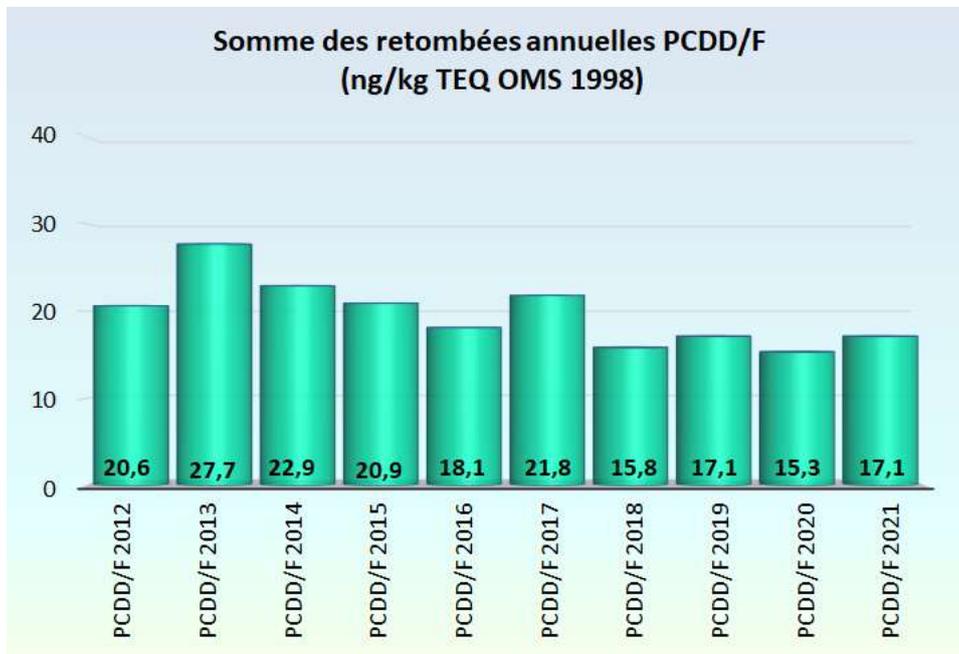
PCDD/F DANS LES LICHENS



PCDD/F, ng/kg TEQ OMS 1998

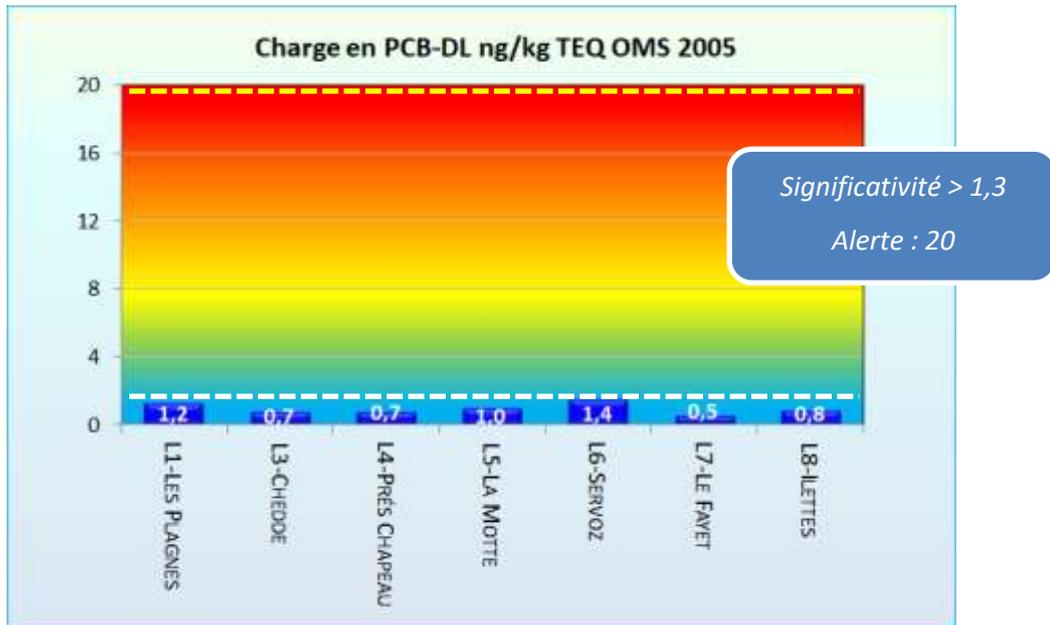
La ligne discontinue blanche figure la VS et la ligne discontinue jaune, la valeur alerte.

L4-Prés Chapeau et L6-Servoz se démarquent.



PCDD/F, Evolution (ng/kg TEQ OMS 1998) – long terme : 2012-2021

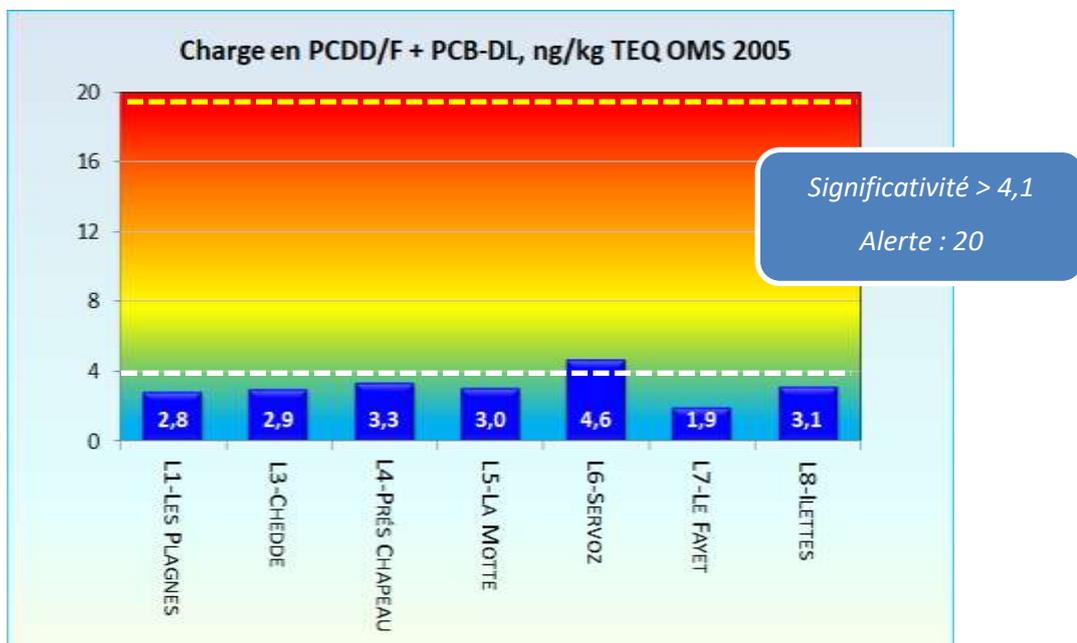
La somme de 2021 est identique à celle de 2019 et se maintient dans les années les plus faibles.

PCB-DL DANS LES LICHENS

PCB-DL, ng/kg TEQ OMS 2005

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

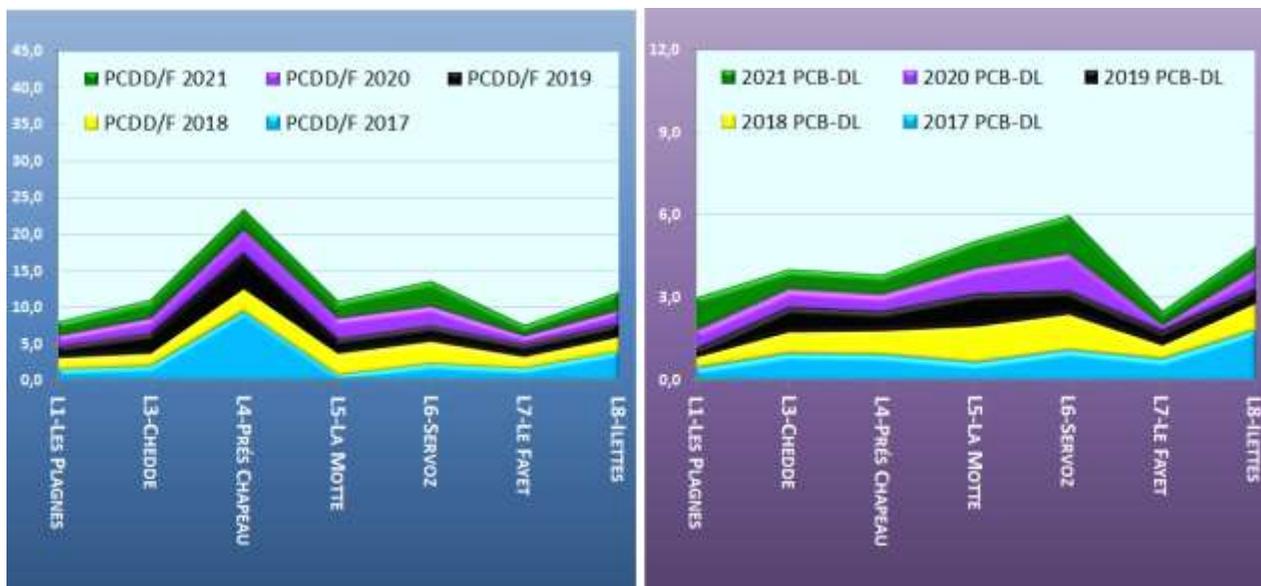
L6-Servoz est faiblement remarqué.

PCDD/F + PCB-DL DANS LES LICHENS

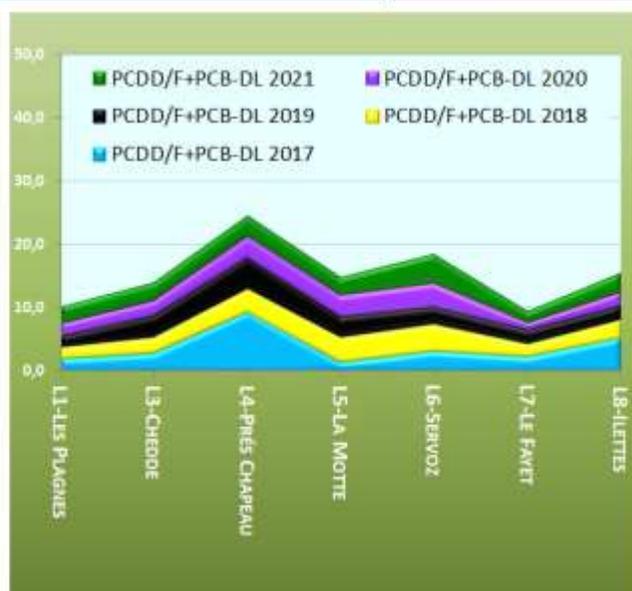
PCDD/F + PCB-DL, ng/kg TEQ OMS 2005

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

L6-Servoz est significatif.



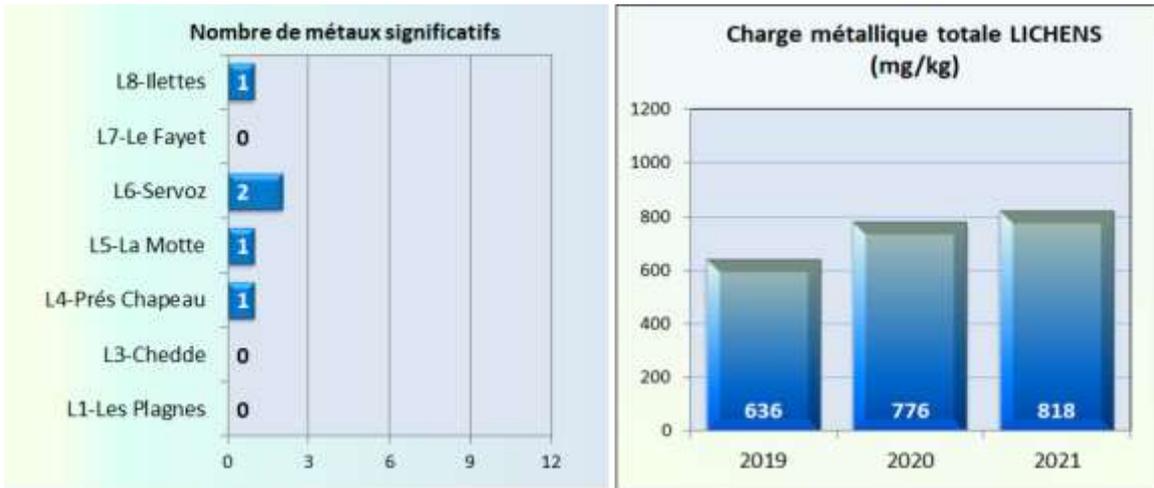
Empilement des résultats dans les lichens au moyen terme,
 PCDD/F : ng/kg TEQ OMS 1998
 PCB-DL et PCDD/F + PCB-DL : ng/kg TEQ OMS 2005



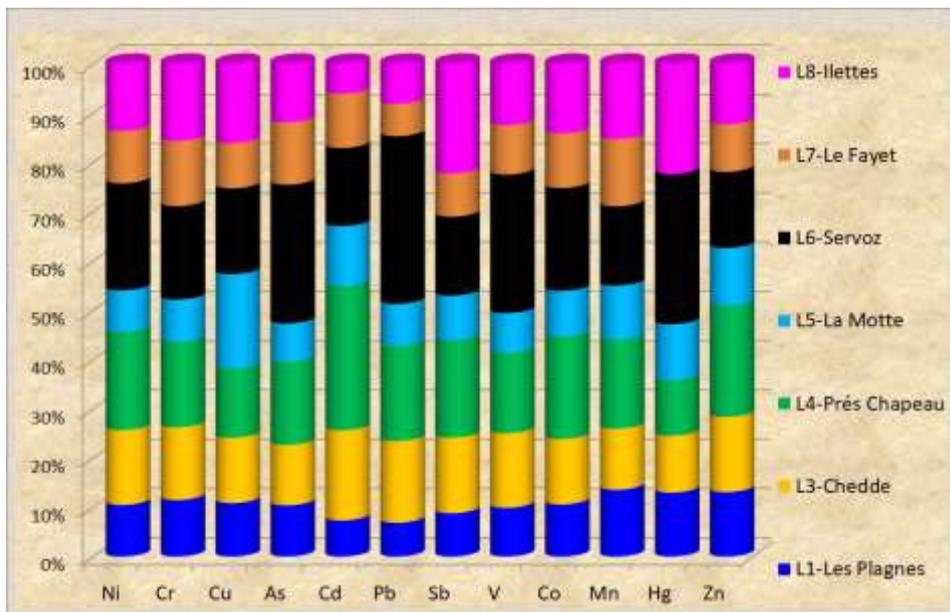
La mise en parallèle des dosages au moyen terme montre que les influences sont différentes entre les PCDD/F : L4-Prés Chapeau étant le plus contributeur (que les taux soient VS ou non) et les PCB-DL : L6-Servoz.

En PCDD/F + PCB-DL : L4-Prés Chapeau est remarqué puis L6-Servoz et L8-Ilettes (le témoin).

ETM DANS LES LICHENS

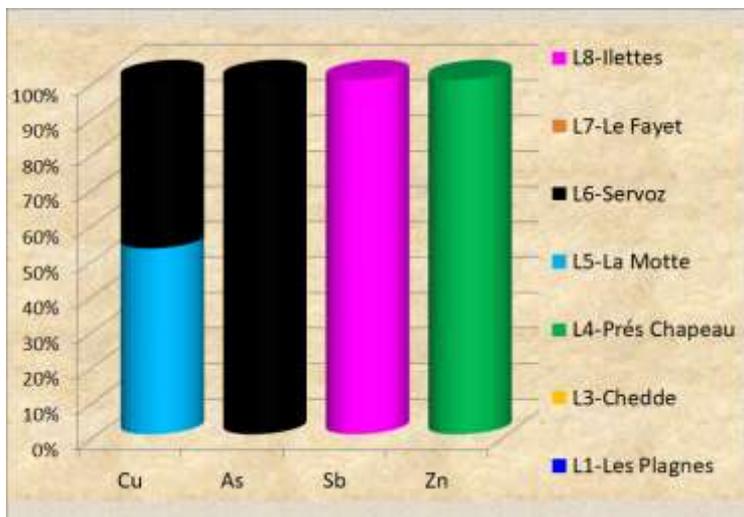


Nombre de métaux significatifs par emplacement : Peu de métaux sont remarqués par emplacement.
 Evolution de la charge métallique totale (mg/kg) : La somme d'ensemble augmente modérément (2019/2021).



Ensemble des métaux, hors TI, %

En s'affranchissant de toute significativité, les emplacements sont tour à tour plus ou moins visibles selon les métaux.



4 ETM sont VS :
 Cuivre : L5-La Motte, L6-Servoz
 Arsenic : L6-Servoz
 Antimoine : L8-Ilettes (témoin)
 Zinc : L4-Prés Chapeau

SYNTHESE

- ▶ Depuis plusieurs années, SUEZ RV Energie pour son usine à Passy Mont-Blanc (74) bénéficie des atouts de la surveillance environnementale basée sur les capacités des biocapteurs lichéniques.
- ▶ Les travaux d'Air 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 les collectivités.
- ▶ Norme de prélèvements : lichens NF X 43-904.
- ▶ Cette expertise utilise 7 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 294 analyses réalisées (CARSO agréé et certifié COFRAC).

DIOXINES, FURANES (PCDD/F) - LICHENS

Li-Diox®

- ▶ Les mesures de dioxines et furanes mettent en œuvre les enseignements du Procédé d'Air 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 (depuis 2020).

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.**

- ▶ Deux emplacements démontrent une significativité : L4-Prés Chapeau et L6-Servoz.
- ▶ L6-Servoz est le plus élevé (3,5 ng/kg TEQ OMS 1998), il représente 17,5% du seuil d'alerte et ne nécessite donc aucune recommandation.
- ▶ L4-Prés Chapeau est légèrement significatif en OMS 1998 et ne l'est pas en OMS 2005.

Les autres emplacements représentent des teneurs de base.

- ▶ L'analyse logarithmique des congénères ne détermine pas de particularité.

-----EVOLUTION-----

2020-2021 : stabilité d'ensemble qui cache la croissance de 30% de L6-Servoz pour une VS.

2017-2021 : L4-Prés Chapeau est régulièrement significatif.

2012-2021 : une décroissance globale est confirmée par la courbe de tendance.

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

- ▶ PCB-DL : Les valeurs significatives (VS) sont supérieures à 1,3 ng/kg TEQ OMS 2005.
- ▶ PCDD/F + PCB-DL : Les valeurs significatives (VS) sont supérieures à 4,1 ng/kg TEQ OMS 2005.
- ▶ En PCB-DL comme aux PCDD/F + PCB-DL, L6-Servoz est significatif. C'est le seul.

Son taux est légèrement VS en PCB-DL et faible en PCDD/F + PCB-DL. Il subit en 2021 l'influence de travaux immobiliers et de réfection de l'église lors des prélèvements.

►La répartition par homologue est classique (PCB118, PCB105, PCB156). Des possibilités de sources locales complémentaires sont repérées et citées ci-dessus.

-----EVOLUTION-----

2017-2021 : très peu de VS ont été signalées en PCB-DL et occasionnellement en PCDD/F + PCB-DL. C'est la première fois que L6-Servoz est remarqué depuis 2017 au moins.

ETM (METAUX) - LICHENS

►13 métaux sont dosés : 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).

►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).



La charge métallique totale est modérée. L4-Prés Chapeau est le plus élevé (valeur du Zn).



Quatre métaux sont spécifiés, sur un ou deux emplacements chacun : Cu sur L5-La Motte et L6-Servoz ; As sur L6-Servoz ; Sb sur L8-Ilettes (témoin) ; Zn sur L4-Prés Chapeau. Toutes les valeurs sont faibles ou modérées.



Les autres ETM et emplacements (L1-Les Plagnes, L3-Chedde, L7-Le Fayet) ne remarquent que des bruits de fond. Au moyen terme, Ni, Cr, Pb, V, Co, Mn, Hg et Tl n'ont jamais été signifiés.

-----EVOLUTION-----

►La charge métallique totale globale s'accroît de 30% entre 2019 et 2021 malgré une grande majorité de teneurs de base. L4-Prés Chapeau, L8-Ilettes (témoin), L1-Les Plagnes sont plus concernés.

2017-2021 : l'analyse de l'évolution s'intéresse aux 4 métaux remarquables VS en 2021.

►Le cuivre concerne L6-Servoz depuis 2020. La VS de 2020 sur L1-Les Plagnes a baissé pour un bruit de fond et L5-La Motte se remarque pour la première fois au moyen terme.

►L'arsenic est exclusivement et régulièrement retrouvé sur L6-Servoz à des taux légèrement significatifs.

►Le zinc est souvent visible sur L4-Prés Chapeau.

►L'antimoine peut, rarement, concerner le témoin L8-Ilettes donc sans relation avec l'usine Suez RV Energie.

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. 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	MET008 HRGC/HRMS Autospec ULTIMA (Waters)	ng/kg MB TEF OMS 1998 ou OMS 2005
PCB-DL	EPA 1668	MET038	µg/kg MB
PCB-NDL PCB-I			
ETM	M.I. M_SM139 / M_SM140	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

Le tableau ci-dessous présente les Bruits de Fond (BFBD) et Valeurs Significatives (VSBD) selon la Base de Données Air Lichens dans les Lichens.

Les valeurs de référence du calcul BFBD sont celles de la Zone Témoin d'Air Lichens (RN) et un ensemble de données « France entière ».

La colonne « Rf. RN » représente la valeur de la mesure dans les 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.

Dans le calcul de significativité, nous suivons les recommandations de l'INERIS (ADEMDIOX - participation AAIR LICHENS - 2000) avec une significativité majoritairement basée sur 40% d'incertitudes cumulées.

Analyses LICHENS	Bruit de fond (BFBD)	Significativité (VSBD)	Analyse (Rf. RN)	Seuil de quantification	Valeur alerte
Dioxines/Furanes (ng/kg TEQ OMS 1998 ou OMS 2005)	< 2,0	> 2,8	1,8 OMS 1998 1,6 OMS 2005	0,1	20
PCB-DL (ng/kg TEQ OMS 2005)	< 0,9	> 1,3	0,37	0,1	20
PCDD/F + PCB-DL (ng/kg TEQ OMS 2005)	< 2,9	> 4,1	2,4	0,1	20
PCB-NDL (µg/kg)	< 1,9	> 2,5	1,9	0,1	
PCB-Ind (µg/kg)	< 2,1	> 2,7	2,1	0,1	

*BFBD VSBD dans les lichens selon Air Lichens
HAP (µg/kg), PCDD/F (ng/kg TEQ OMS) et PCB (ng/kg TEQ OMS ou µg/kg)*

Analyses LICHENS	Bruit de fond (BFBD)	Significativité (VSBD)	Analyse (Rf. RN)	Seuil de quantification	Valeur alerte
Chrome (mg/kg)	< 4,0	> 5,6	3,5	0,1	
Chrome VI (mg/kg)	0	0	< L.q	nc	
Cuivre (mg/kg)	< 9,0	> 12,0	9,5	0,1	600
Arsenic (mg/kg)	< 1,5	> 2,0	3,4	0,1	
Mercure (mg/kg)	< 0,15	> 0,20	0,06	0,01	1
Cadmium (mg/kg)	< 0,20	> 0,30	0,1	0,01	1
Manganèse (mg/kg)	< 120	> 170	79	1	
Cobalt (mg/kg)	< 0,80	> 1,10	1,05	1	
Antimoine (mg/kg)	< 0,50	> 0,70	< L.q	0,5	
Nickel (mg/kg)	< 3,5	> 4,9	3,1	0,1	
Plomb (mg/kg)	< 9,0	> 12,0	4,2	0,1	100
Thallium (mg/kg)	0	0	< L.q	0,5	
Vanadium (mg/kg)	< 4,0	> 5,6	5,0	0,25	
Zinc (mg/kg)	< 50	> 70	36	0,1	

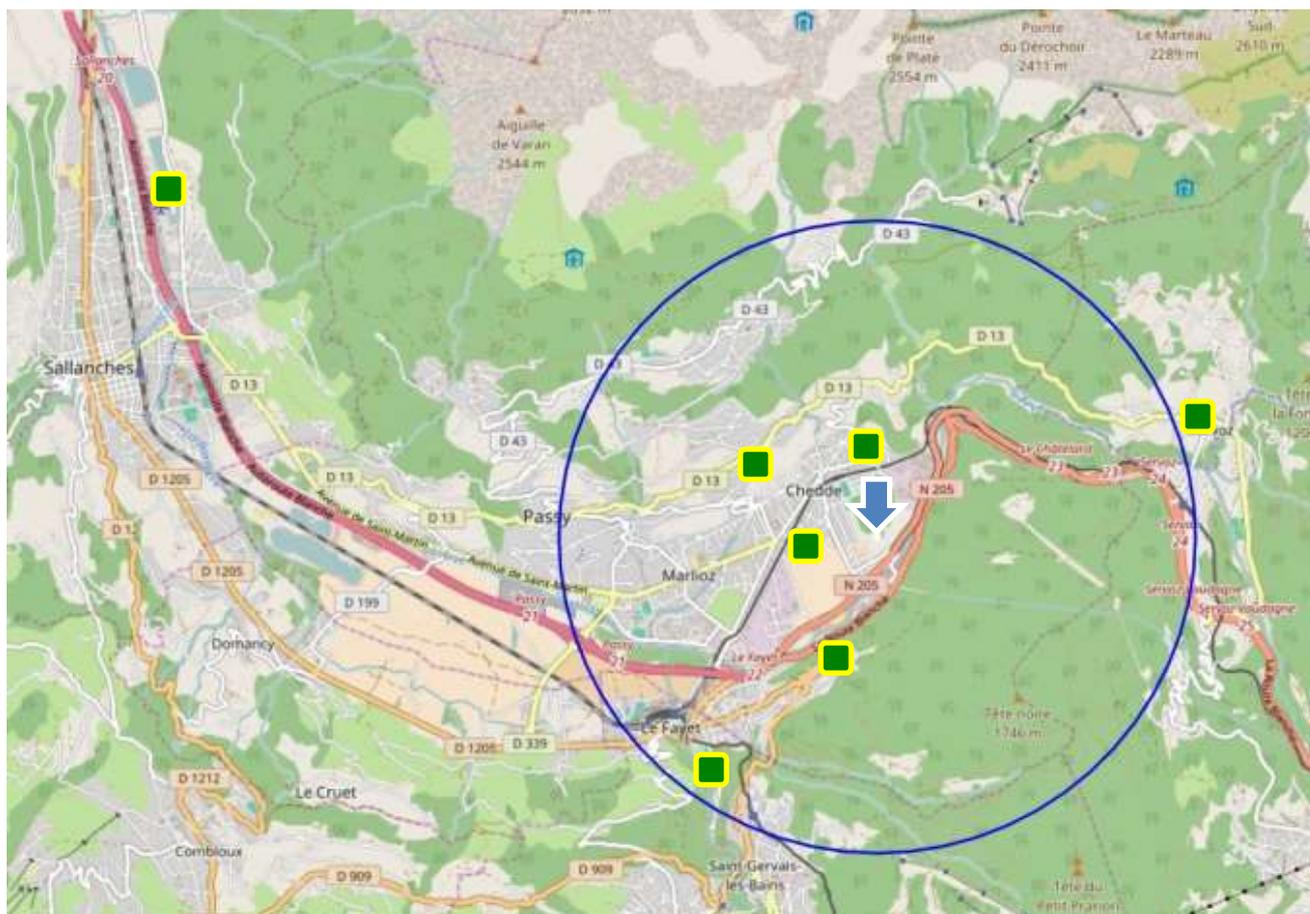
BFBD VSBD dans les lichens selon Air Lichens, Métaux (mg/kg)

Attention, pour les deux tableaux, les seuils de quantification sont fournis à titre indicatif car ils peuvent légèrement varier en fonction des témoins et des blancs lors de l'analyse.

nc : Non Communiqué.

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.



*Localisation de SUEZ RV Energie sur carte OSM - Rayon 3000m
La totalité des emplacements de mesures figure sur cette carte
La flèche bleue localise l'usine et les carrés verts, les emplacements.*

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 car, à proximité, des scieries et menuiseries présentent 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 localise l'usine.



Vue satellitaire rapprochée intégrant la voie montante vers le Mont-Blanc, GGE. La flèche bleue localise 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	45,54,6027	6,43,2399	708	295 rue de la Bergerie – Les Plagnes 74190 Passy. A plus de 400m des habitats pour éviter les influences domestiques. Entrée du GR
L3 – Chedde	0,9	45,55,7247	6,43,5147	612	409 rue Paul Corbin 74190 Passy. Lichens sur noyer – Matériel ATMO en place.
L4 – Prés Chapeau	0,5	45,55,2549	6,43,0799	601	815 rue des Prés de Chedde – 74190 Passy. Céréales.
L5 – La Motte	1,3	45,55,6837	6,42,7186	711	576 Chemin de la Tour 74190 Passy – Prairie, village.
L6 – Servoz	3,0	45,55,8782	6,45,9192	812	D17 74480 Place de l'église. Construction en cours à proximité depuis 2020, église en réfection.
L7 – Le Fayet	2,6	45,54,1039	6,42,3643	622	Chemin du Berchat, Allée de l'Escalade.
L8 – Témoin Ilettes	8,2	45,57,0710	6,38,4228	545	1261 Ancienne Route impériale. D313 – 74700 Sallanches. Base des Ilettes

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	Vitesse des vents	Orientation des vents	Humidité ambiante	Pression barométrique
7 juillet 2021	9 h	18°C	Pluvieuse	3 km/h	NNE	96 %	1016 hPa

Conditions climatiques lors de l'intervention



Localisation de l'ensemble des prélèvements (carrés verts, flèche bleue : l'usine), Rayon 3 km (carte GGE)



Vue satellitaire rapprochée, Bing Map

RESULTATS PCDD/F & PCB-DL



PCDD/F DANS LES LICHENS - Li-Diox[®]

DEFINITION D'UN SEUIL POUR LES LICHENS

► Les travaux d'Air Lichens (Programme ADEMDIOX – 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 avec la variation selon le bruit de fond.

► 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 et les résultats de la Zone Témoin d'Air Lichens (dédiée R&D).

	Différents niveaux d'action	Valeur la plus élevée dans l'étude (ng/kg TEQ OMS 1998)
Valeurs non significatives selon la teneur de fond	≤ 2,8 ng TEQ/kg	
Valeurs significatives selon la teneur de fond mais inférieures au seuil maximal admissible	> 2,8 ng TEQ/kg	3,5
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.

BRUIT DE FOND – VALEURS REMARQUABLES PCDD/F

► Le bruit de fond est la valeur environnementale de base. Air Lichens dispose d'une référence : celle de sa Zone Témoin dédiée R&D.

En raison d'une décroissance généralisée des teneurs en PCDD/F en France, confirmée par la Zone Témoin d'Air Lichens, les valeurs de référence ont été adaptées. Depuis 2020 : VS > 2,8 ng/kg TEQ OMS.

► Le taux de significativité, (quantité de PCDD/F > au bruit de fond) suit les recommandations de l'INERIS (ADEMDIOX - 2000) :

- Les résultats > 40% au bruit de fond sont significatifs.
- 40% sont équivalents aux incertitudes cumulées : 15% à l'analyse (*donnée du laboratoire*), 15% pour les prélèvements (*écart type de 15%*) et 10% pour les incertitudes aléatoires.
- Cette incertitude (*intervalle de confiance de 95%*) préconisée par l'INERIS correspond à celle des prélèvements à l'émission, selon le Comité Européen de Normalisation.
- Elle détermine les variations significatives entre les surveillances et n'est pas applicable pour des valeurs faibles. Il s'agit alors d'une variation de bruit de fond.

► 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.

BRUIT DE FOND : 2,0 ng/kg TEQ OMS
Pour des valeurs déterminantes supérieures à 2,8 ng/kg TEQ OMS

Le terme « significatif » (VS) est statistique et signifie que le bruit de fond est dépassé, incertitudes comprises, sans lien avec un risque sanitaire.

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

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

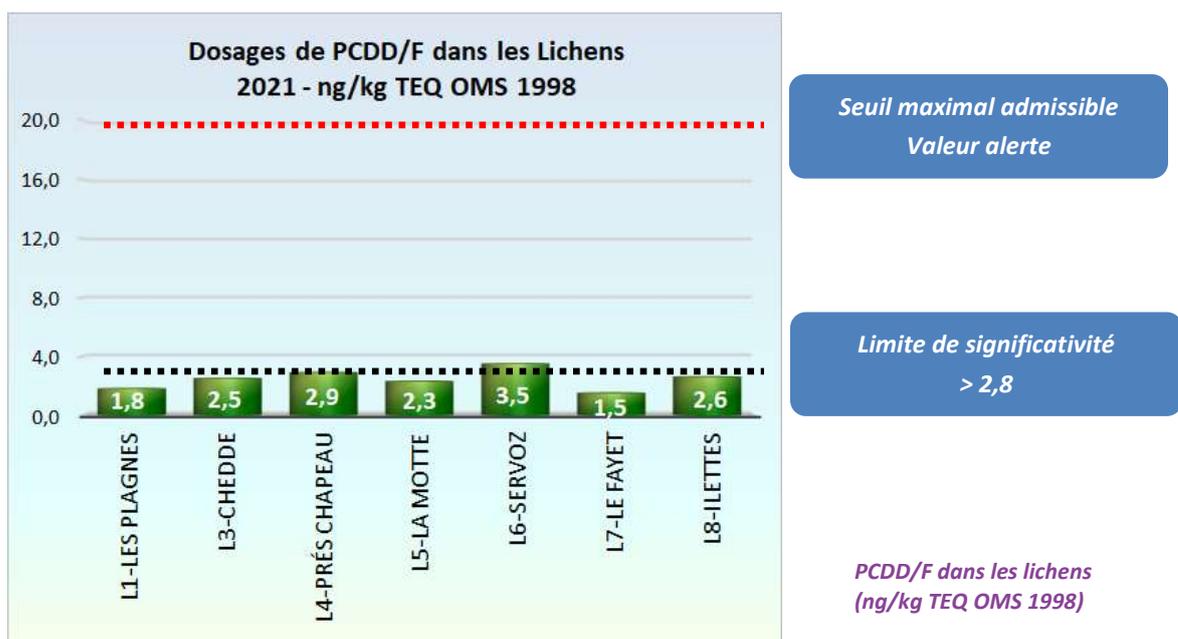
Emplacements	PCDD/F ng/kg TEQ OMS 1998	PCDD/F ng/kg TEQ OMS 2005
L1-Les Plagnes	1,8	1,6
L3-Chedde	2,5	2,2
L4-Prés Chapeau	2,9	2,6
L5-La Motte	2,3	2,1
L6-Servoz	3,5	3,2
L7-Le Fayet	1,5	1,4
L8-Ilettes	2,6	2,3
Significatif (VS)	> 2,8	

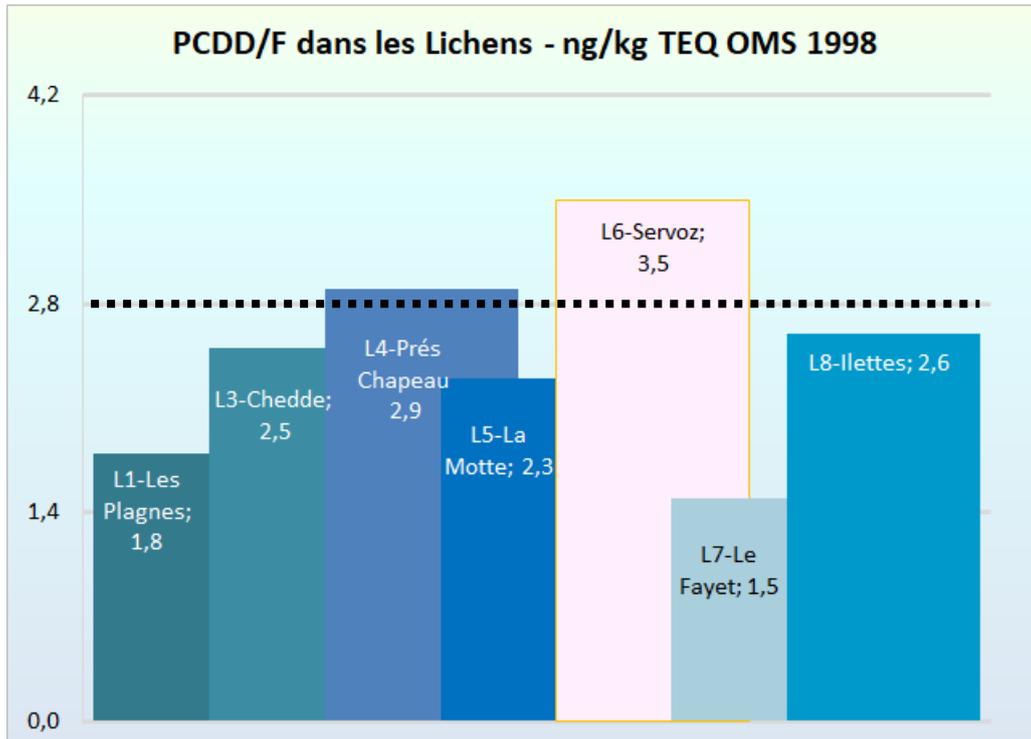
Résultats PCDD/F, ng TEQ/kg – OMS 1998 et OMS 2005.

En bleu : VS par rapport à la teneur de fond – selon la base de données Aair Lichens

- ▶ Deux emplacements démontrent une significativité : L4-Prés Chapeau et L6-Servoz.
- ▶ L6-Servoz est le plus élevé. Avec 3,5 ng/kg TEQ OMS 1998, il représente 17,5% du seuil d'alerte ce qui ne nécessite aucune recommandation. On se rappellera que des travaux à proximité ont été notés, ce qui peut influencer.
- ▶ L4-Prés Chapeau est légèrement significatif en OMS 1998 et ne l'est pas en OMS 2005.

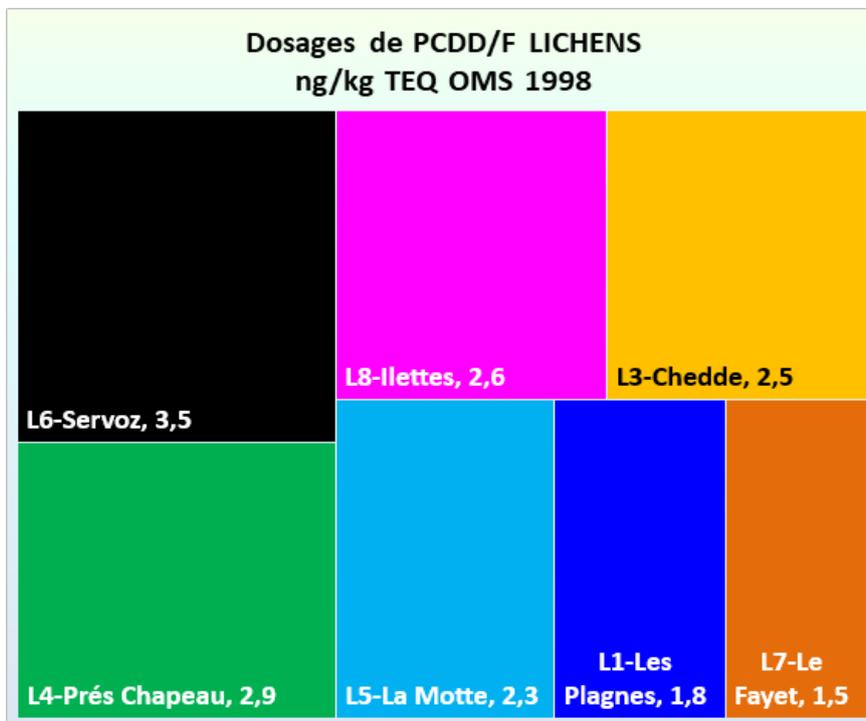
N.B : Le seuil alerte de 20 ng/kg TEQ OMS ne correspond pas à une recommandation officielle ou à une norme d'exposition. Tout dépassement de cette valeur doit cependant entraîner des vérifications, surtout en cas d'élevages laitiers proches.



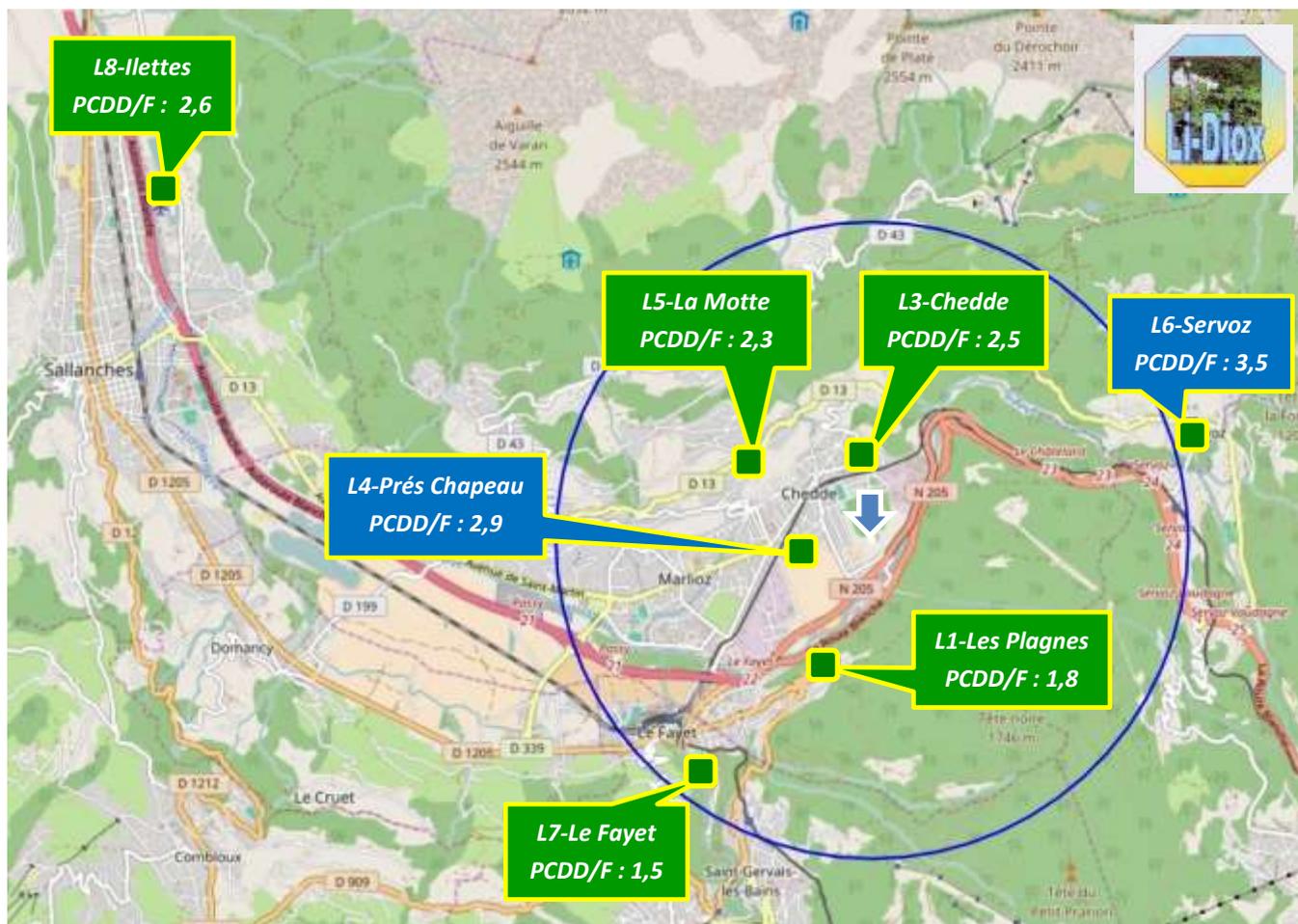


Résultats des PCDD/F (ng/kg TEQ OMS 1998) en parallèle de la limite de significativité

La plupart des emplacements restent en bruits de fond dans des valeurs proches les unes des autres pour L3-Chedde, L5-La Motte ou L8-Ilettes (témoin). L7-Le Fayet et L1-Les Plagnes sont particulièrement faibles.



Résultats des PCDD/F dans les lichens (ng/kg TEQ OMS 1998)



Résultats des PCDD/F dans les lichens sur fond

OSM

Rayon de localisation : 3000m

ng/kg TEQ OMS 1998

En bleu : VS

En vert : teneurs de base (bruits de fond)

La flèche bleue indique l'usine, les carrés représentent les emplacements de prélèvements.

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.

Le bruit de fond (< 2,0 ng/kg TEQ OMS) détermine des valeurs significatives (VS) supérieures à 2,8 ng/kg TEQ OMS.

Ceci ne modifie pas les interprétations d'avant 2020 : VS > 3,2 ng/kg TEQ OMS 1998.

Emplacements	PCDD/F 2017	PCDD/F 2018	PCDD/F 2019	PCDD/F 2020	PCDD/F 2021	2021/2020	Evolution
L1-Les Plagnes	1,6	1,5	1,6	1,6	1,8		Bruit de fond
L3-Chedde	2,0	1,7	2,8	2,1	2,5		Bruit de fond
L4-Prés Chapeau	9,4	3,1	4,9	3,1	2,9	0,9	Stable
L5-La Motte	0,8	2,9	2,1	2,8	2,3		Bruit de fond
L6-Servoz	2,3	3,1	2,1	2,7	3,5	1,3	Hausse +30%
L7-Le Fayet	1,7	1,5	1,8	1,2	1,5		Bruit de fond
L8-Ilettes	4,0	2,0	1,8	1,8	2,6		Bruit de fond
Somme	21,8	15,8	17,1	15,3	17,1	1,1	Stable
VS	> 3,2			> 2,8			

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

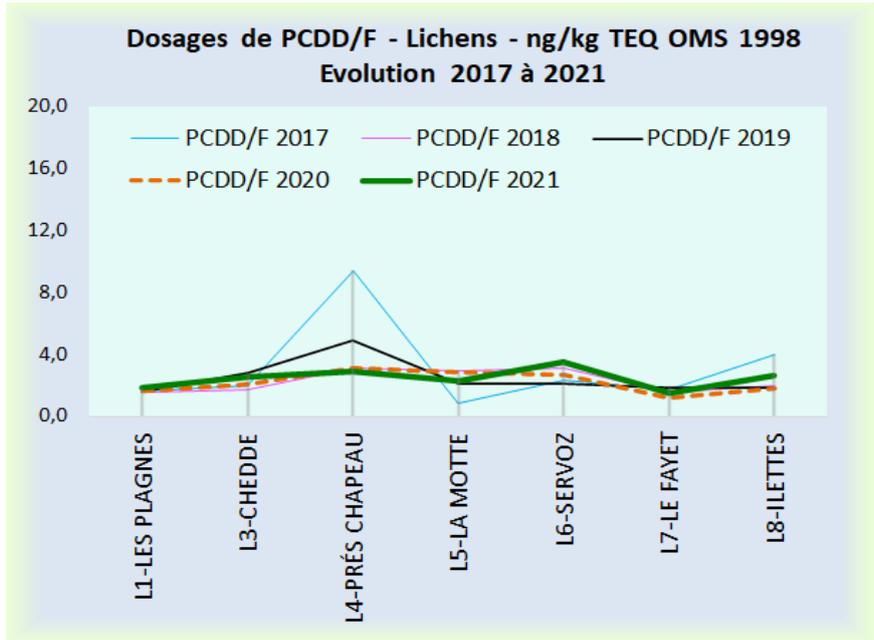
Les cellules bleutées sont attribuées aux valeurs significatives suivant le bruit de fond, aucune VS au moyen terme



2020-2021 : stabilité globale qui cache la croissance de L6-Servoz pour une VS en 2021.



2017-2021 : L4-Prés Chapeau est régulièrement significatif.

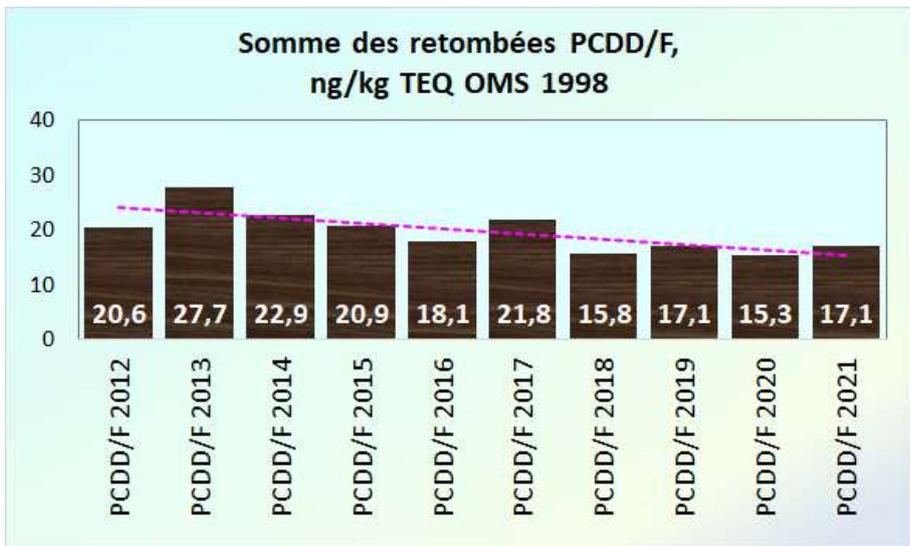


Mise en parallèle des campagnes de mesures (ng/kg TEQ OMS 1998)

- ▶ La courbe de 2021 est plutôt située dans la partie basse du graphique sauf pour L6-Servoz.
- ▶ L'évolution peut également être envisagée selon la somme des résultats :

	PCDD/F 2012	PCDD/F 2013	PCDD/F 2014	PCDD/F 2015	PCDD/F 2016	PCDD/F 2017	PCDD/F 2018	PCDD/F 2019	PCDD/F 2020	PCDD/F 2021
Somme	20,6	27,7	22,9	20,9	18,1	21,8	15,8	17,1	15,3	17,1

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



Evolution de la somme des retombées, ng/kg TEQ OMS 1998

2012-2021 : la courbe de tendance confirme une décroissance au long terme.

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 :

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

▶ 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*)

$$\text{TEQ} = \sum_i \text{TEF}_i \cdot C_i$$

REPARTITION

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

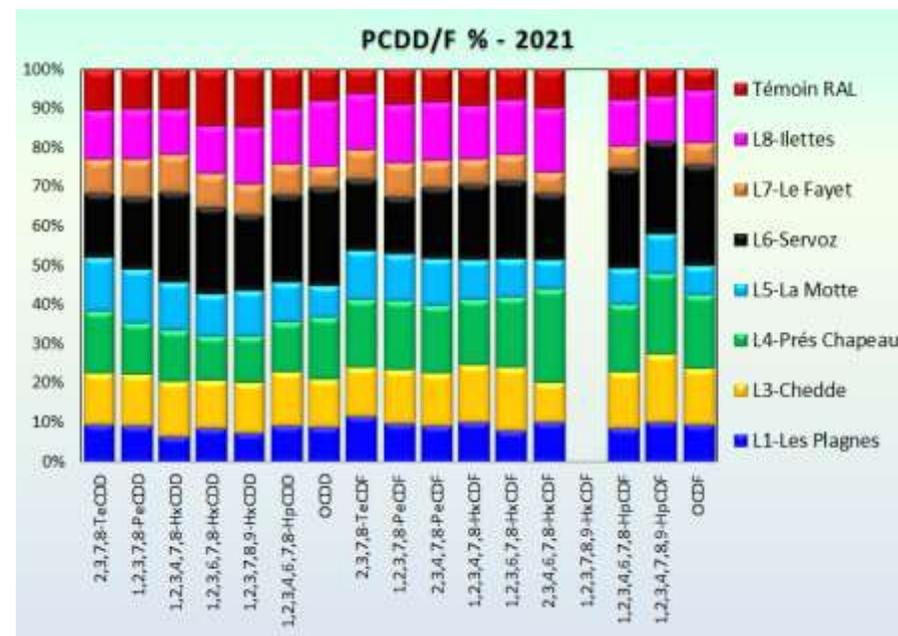
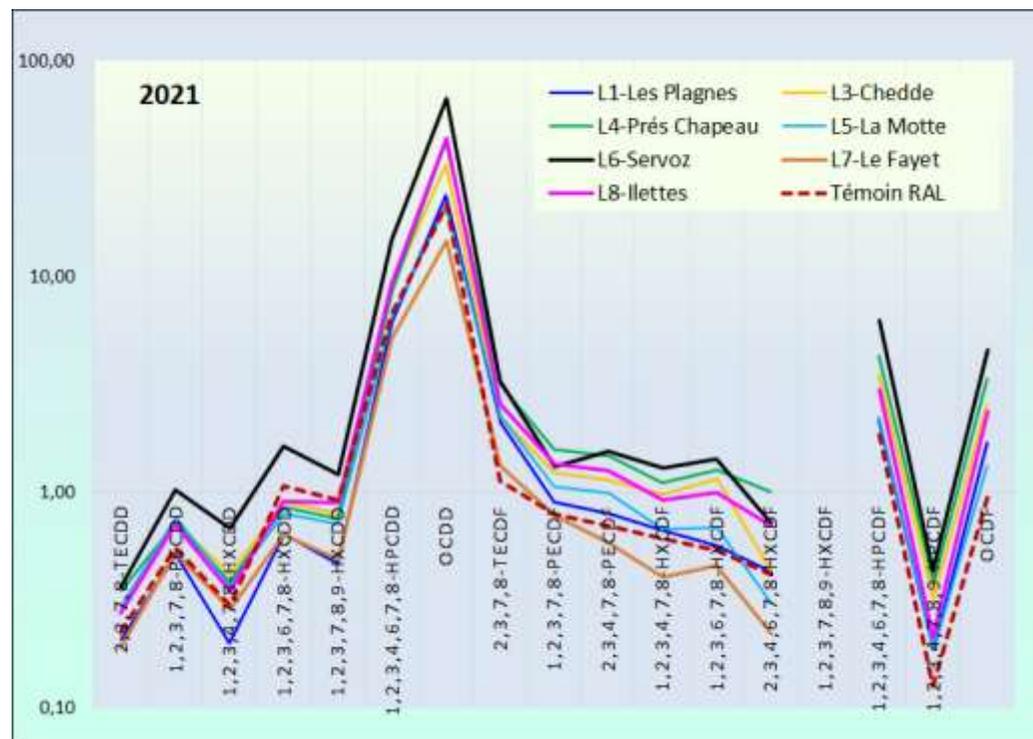
	L1-Les Plagnes	L3-Chedde	L4-Prés Chapeau	L5-La Motte	L6-Servoz	L7-Le Fayet	L8-Ilettes	Témoir Air Lichens
2,3,7,8-TeCDD	0,21	0,29	0,35	0,30	0,36	0,19	0,28	0,23
1,2,3,7,8-PeCDD	0,51	0,73	0,72	0,77	1,03	0,52	0,71	0,56
1,2,3,4,7,8-HeCDD	0,20	0,42	0,39	0,37	0,68	0,29	0,35	0,30
1,2,3,6,7,8-HeCDD	0,64	0,90	0,86	0,79	1,63	0,64	0,91	1,07
1,2,3,7,8,9-HeCDD	0,47	0,79	0,76	0,71	1,21	0,49	0,90	0,92
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	6,21	9,12	8,62	6,59	14,93	5,17	9,36	6,74
OCDD	23,70	33,09	42,18	21,41	66,77	14,75	43,92	21,54
2,3,7,8-TeCDF	2,11	2,23	3,15	2,25	3,28	1,33	2,56	1,14
1,2,3,7,8-PeCDF	0,90	1,23	1,59	1,06	1,32	0,78	1,35	0,79
2,3,4,7,8-PeCDF	0,79	1,14	1,47	1,00	1,54	0,59	1,26	0,70
1,2,3,4,7,8-HeCDF	0,67	0,97	1,11	0,67	1,30	0,40	0,92	0,61
1,2,3,6,7,8-HeCDF	0,56	1,15	1,27	0,69	1,42	0,46	1,00	0,54
2,3,4,6,7,8-HeCDF	0,43	0,43	1,01	0,31	0,72	0,22	0,70	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
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	2,17	3,48	4,30	2,22	6,25	1,42	2,97	1,86
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,19	0,32	0,38	0,19	0,44	0,00	0,21	0,13
OCDF	1,70	2,57	3,38	1,32	4,57	1,04	2,36	0,97
TEQ totaux – ng/kg MB	1,80	2,50	2,90	2,30	3,50	1,50	2,60	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 à gauche et par % à droite.

► L'analyse logarithmique présente des courbes assez similaires entre elles avec des pics (2,3,4,7,8-PeCDF et 1,2,3,6,7,8-HxCDF) sur la plupart des emplacements y compris le témoin L8-Ilettes (ceci ne se retrouve ni sur le témoin Air Lichens ni sur L1-Les Plagnes et un peu moins sur L7-Le Fayet).

Il sera remarqué que le profil de L4-Prés Chapeau est de moins en moins atypique (à cet effet, les années 2017 et 2019 étaient particulièrement marquées du point de vue logarithmique).

► L'analyse par % montre que les valeurs les plus élevées par congénères ne suivent pas forcément les taux en PCDD/F totaux notamment pour L6-Servoz et L4-Prés Chapeau.

ANALYSE DES PROFILS (RECHERCHE AAIIR LICHENS)

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

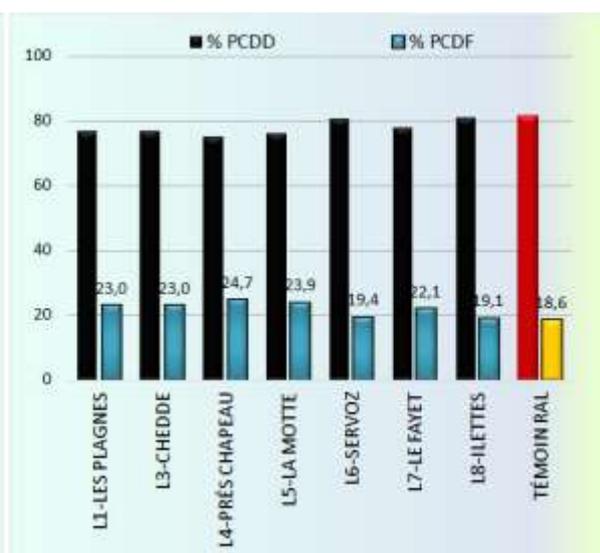
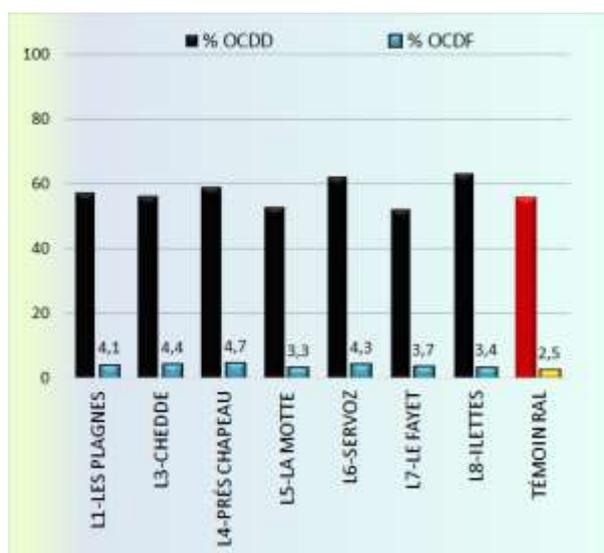
L'utilisation de cette méthode de comparaison de la répartition des congénères a pour but d'observer si une signature ou des interférences repérables existent.

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 (%), 2021.

Répartition des PCDD et des PCDF (%), 2021.

► La première approche de la recherche de signature, ne considérant que l'OCDD et l'OCDF, ne permet pas de déterminer 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 montrent aucune particularité et confirment la baisse furanique (% PCDF) de L4-Prés Chapeau par rapport aux campagnes précédentes.

Des éléments sont à considérer :

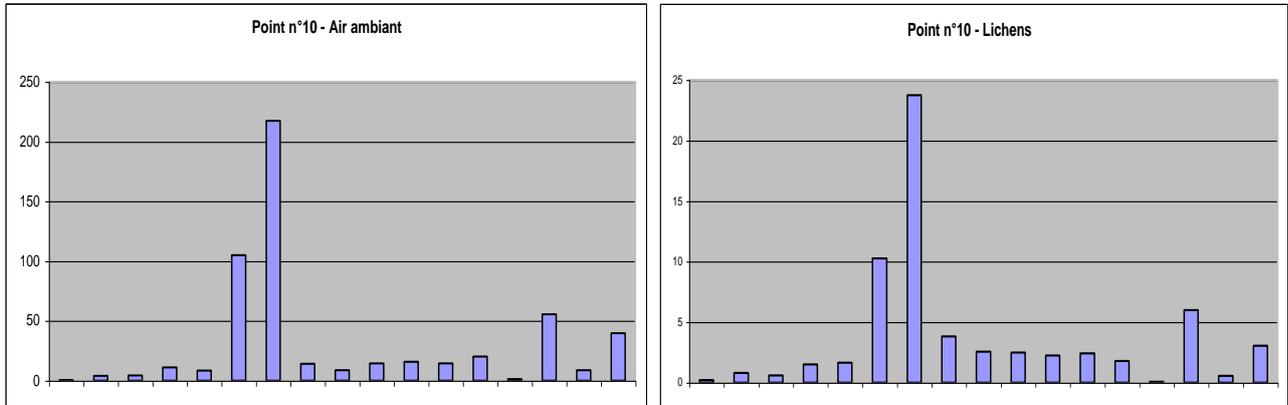
- Une signature doit être reproductible pour être fiable, sinon il s'agit d'interférences. Les signatures d'émission, et les pics d'OCDF, peuvent varier dans le temps. Un travail de recherche de signature ne peut être considéré comme définitif.
- Généralement, plus l'on s'approche des teneurs de fond, 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>
<i>2,3,7,8 TCDD</i>	<i>8,3</i>	<i>1</i>
<i>1,2,3,7,8 PCDD</i>	<i>15</i>	<i>1</i>
<i>1,2,3,4,7,8 HxCDD</i>	<i>31</i>	<i>0,1</i>
<i>1,2,3,6,7,8 HxCDD</i>	<i>31</i>	<i>0,1</i>
<i>1,2,3,7,8,9 HxCDD</i>	<i>31</i>	<i>0,1</i>
<i>1,2,3,4,6,7,8 HpCDD</i>	<i>63</i>	<i>0,01</i>
<i>OCDD</i>	<i>165</i>	<i>0,0001</i>

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

► **PCB-DL :** Les zones témoins rurales présentent des valeurs de 0,5 à 1,0 ng/kg (TEQ OMS 2005, Données exclusives A13-578 Air Lichens).

Dans ce cas, les valeurs significatives sont supérieures à 1,3 ng/kg TEQ OMS 2005 sur une base de teneur de fond de 0,9 ng/kg TEQ OMS 2005. La teneur de la zone témoin d'Air Lichens est de 0,37 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 pour les lichens.

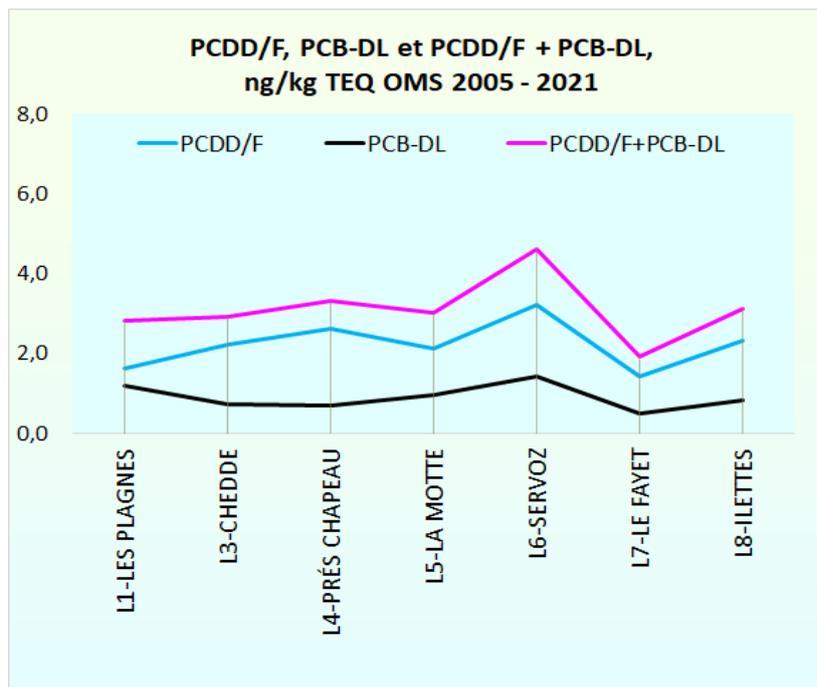
Selon les données les plus récentes :

- * Limite de significativité pour les PCDD/F (TEQ OMS 2005) : > 2,8 ng/kg
- * Limite de significativité pour les PCB-DL (TEQ OMS 2005) : > 1,3 ng/kg
- * Limite de significativité pour les PCDD/F + PCB-DL (TEQ OMS 2005) : > 4,1 ng/kg

Emplacements	PCDD/F ng/kg	PCB-DL ng/kg	PCDD/F + PCB-DL ng/kg
L1-Les Plagnes	1,6	1,2	2,8
L3-Chedde	2,2	0,7	2,9
L4-Prés Chapeau	2,6	0,7	3,3
L5-La Motte	2,1	1,0	3,0
L6-Servoz	3,2	1,4	4,6
L7-Le Fayet	1,4	0,5	1,9
L8-Ilettes	2,3	0,8	3,1
Significativité (VS)	> 2,8	> 1,3	> 4,1

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

En bleu : VS – base de données Air Lichens.

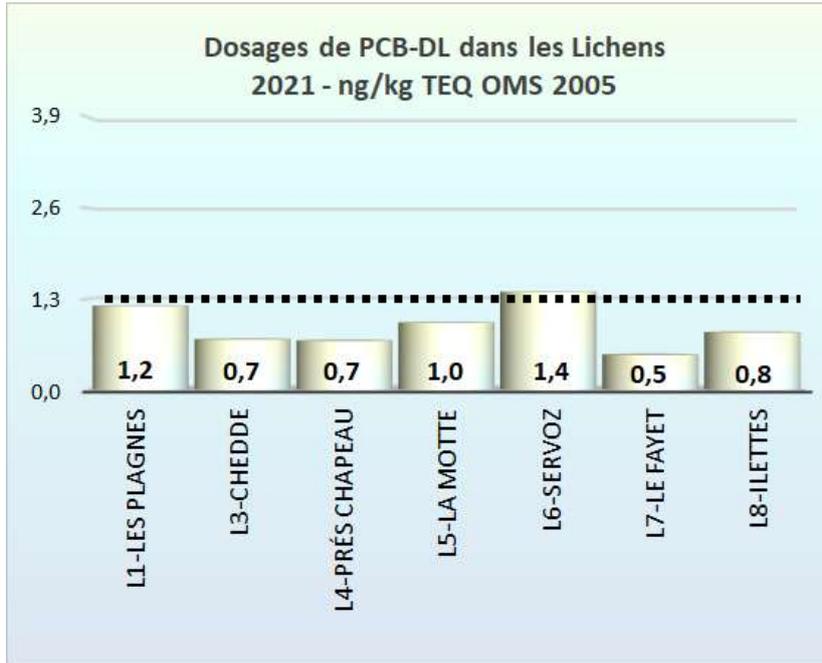


Résultats des dosages dans les lichens, ng/kg TEQ OMS 2005

► OMS 2005 =>

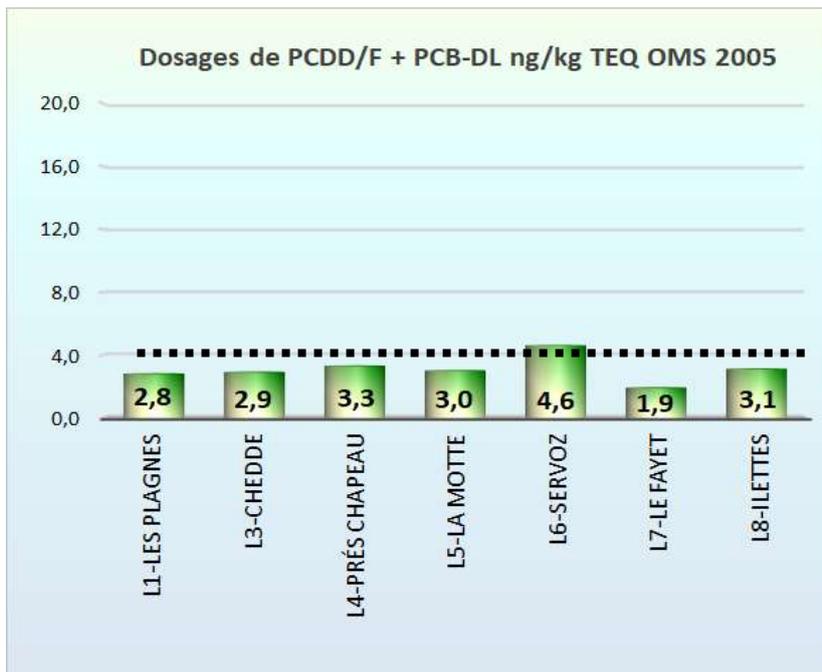
Que ce soit en PCDD/F, PCB-DL ou PCDD/F + PCB-DL, L6-Servoz est le seul remarqué.

► Les courbes des PCDD/F, PCB-DL et PCDD/F + PCB-DL ne sont pas forcément parallèles. En particulier, les PCDD/F seraient plutôt discriminants pour la plupart des emplacements et les PCB-DL pour L1-Les Plagnes sans que cela ne change son appartenance aux teneurs de base.



Limite de significativité
> 1,3

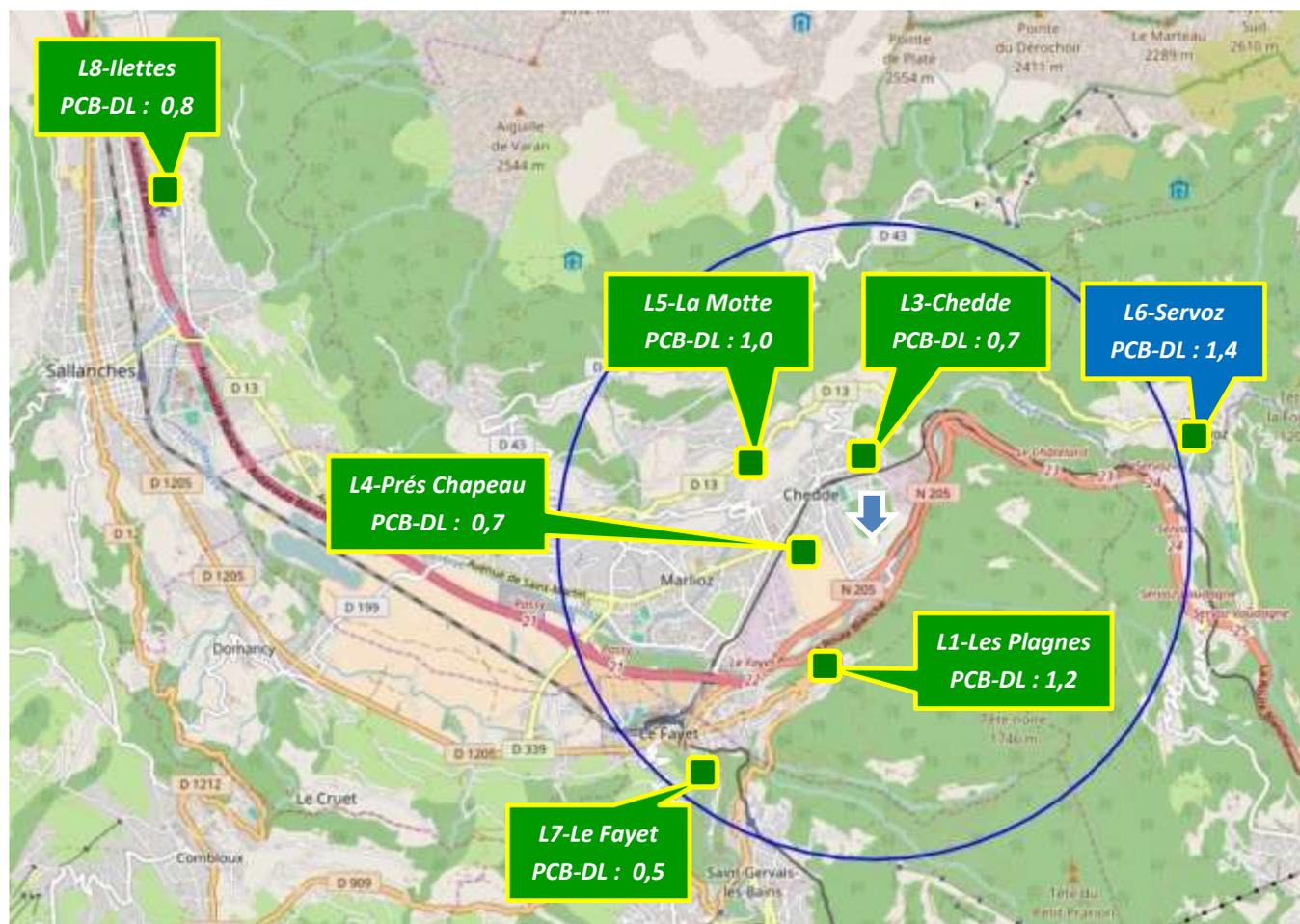
Résultats des PCB-DL dans les lichens (ng/kg TEQ OMS 2005)



Limite de significativité
> 4,1

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

L6-Servoz est faiblement significatif en PCB-DL, il est aussi noté en PCDD/F + PCB-DL. C'est le seul.



Résultats des PCB-DL dans les lichens sur fond

OSM

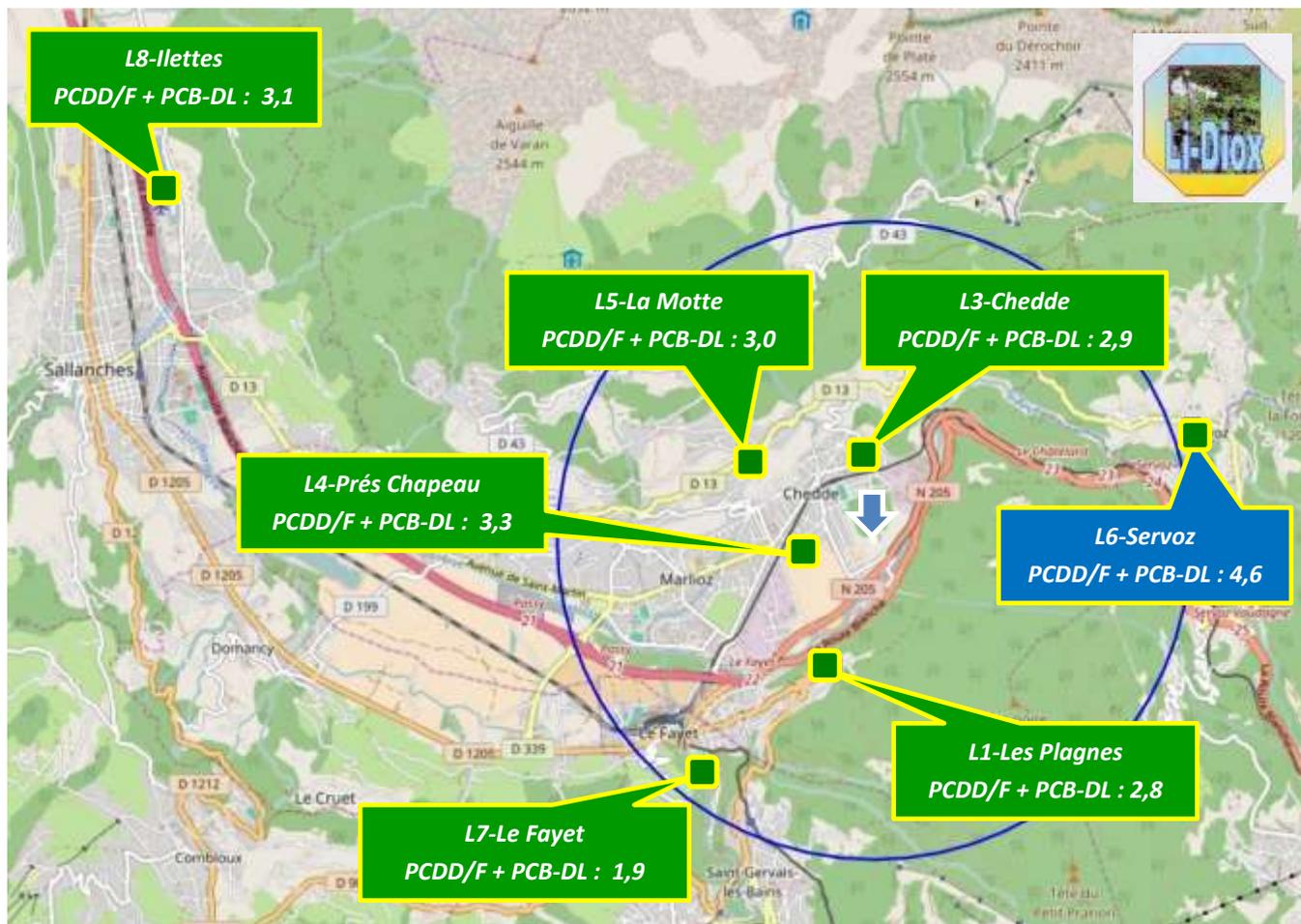
Rayon de localisation : 3000m

ng/kg TEQ OMS 2005

En bleu : VS

En vert : bruits de fond

La flèche bleue indique l'usine, les carrés représentent les emplacements de prélèvements.



Résultats des PCDD/F + PCB-DL dans les lichens sur fond OSM

Rayon de localisation : 3000m

ng/kg TEQ OMS 2005

En bleu : VS

En vert : teneurs de base (bruits de fond)

La flèche bleue indique l'usine, les carrés représentent les emplacements de prélèvements.

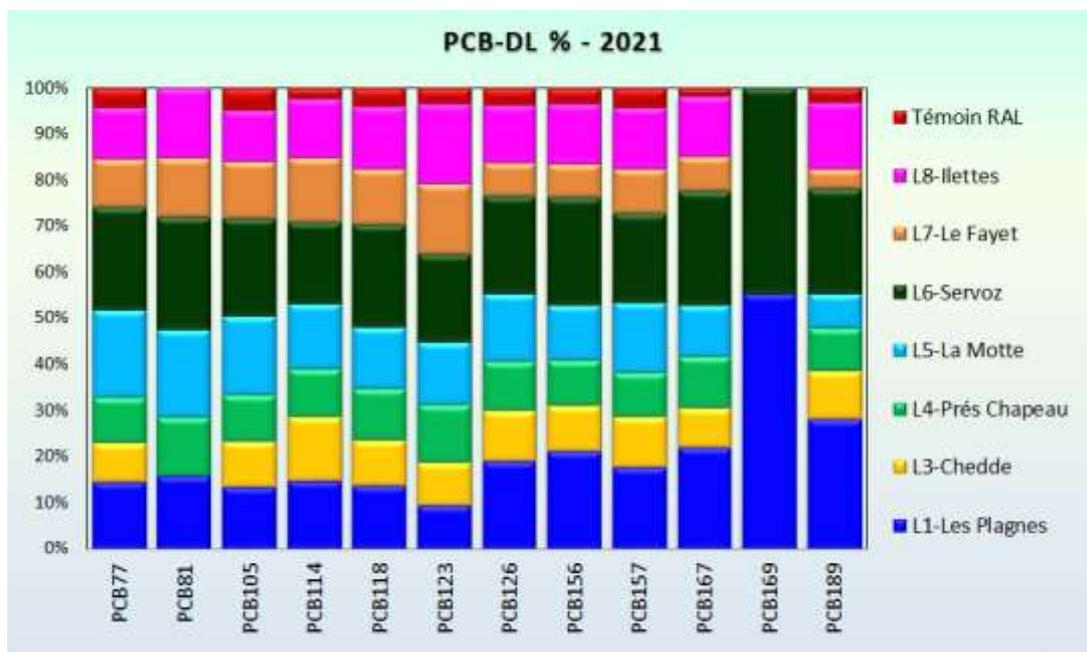
REPARTITION DES PCB-DL

	PCB77	PCB81	PCB105	PCB114	PCB118	PCB123	PCB126	PCB156	PCB157	PCB167	PCB169	PCB189	TOTAUX
L1-Les Plagnes	45,9	1,5	223,8	11,8	546,2	5,9	11,6	110,7	18,3	52,9	1,6	18,9	1049
L3-Chedde	26,6	0,0	160,5	10,9	387,3	5,7	6,6	51,1	11,2	19,9	0,0	6,9	687
L4-Prés Chapeau	31,3	1,2	164,5	8,3	432,9	7,5	6,4	50,3	9,8	26,8	0,0	6,3	745
L5-La Motte	59,1	1,8	276,7	11,1	529,1	8,3	8,9	62,2	15,5	26,5	0,0	4,9	1004
L6-Servoz	70,2	2,3	351,0	14,1	874,9	11,6	12,9	121,4	20,1	58,7	1,3	15,4	1554
L7-Le Fayet	32,2	1,2	199,7	10,8	468,1	9,2	4,4	37,4	9,7	17,7	0,0	2,9	793
L8-Ilettes	34,7	1,4	183,7	10,1	537,8	10,5	7,5	67,5	13,6	31,0	0,0	9,6	907
TOTAUX	300	10	1560	77	3776	59	58	501	98	234	3	65	6740
Témoin 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

Répartition des PCB-DL selon les emplacements

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

► La répartition des PCB-DL est classique et courante (domination des PCB118, PCB105 et PCB156).



Répartition des PCB-DL selon les emplacements, %

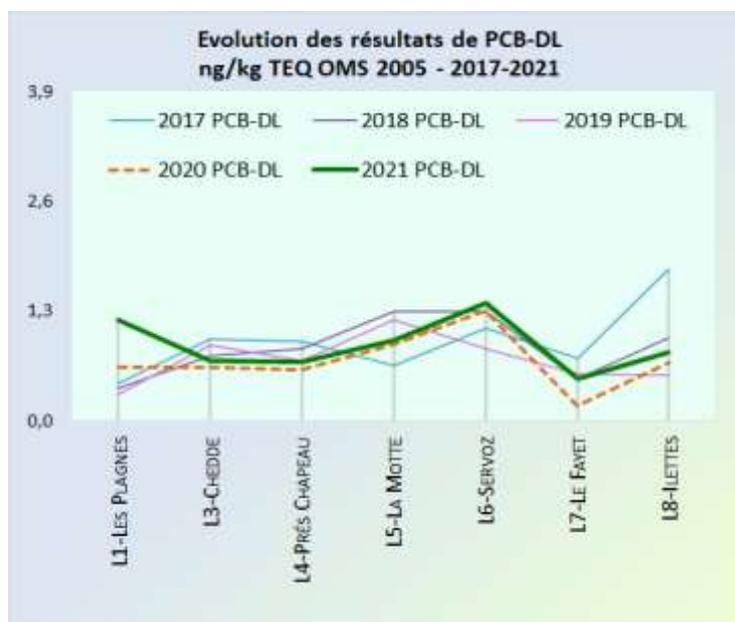
► La répartition par homologue détermine quelques particularités et les valeurs les plus « fortes » en homologues ne suivent pas forcément le résultat en PCB-DL ce qui indique que des sources complémentaires peuvent être présentes.

EVOLUTION

EVOLUTION DES PCB-DL

Emplacements	PCB-DL 2017	PCB-DL 2018	PCB-DL 2019	PCB-DL 2020	PCB-DL 2021	2021/2020	Evolution
L1-Les Plagnes	0,5	0,4	0,3	0,6	1,2		Bruit de fond
L3-Chedde	1,0	0,8	0,9	0,6	0,7		Bruit de fond
L4-Prés Chapeau	0,9	0,9	0,7	0,6	0,7		Bruit de fond
L5-La Motte	0,7	1,3	1,2	0,9	1,0		Bruit de fond
L6-Servoz	1,1	1,3	0,9	1,3	1,4	1,1	Devient VS
L7-Le Fayet	0,8	0,5	0,6	0,2	0,5		Bruit de fond
L8-Ilettes	1,8	1,0	0,5	0,7	0,8		Bruit de fond
Somme	6,7	6,1	5,1	5,0	6,3	1,3	Hausse +30%
VS	> 1,3						

Evolution des PCB-DL en ng/kg TEQ OMS 2005 – en bleu : VS – selon la base de données Air Lichens



Evolution des PCB-DL en ng/kg TEQ OMS 2005

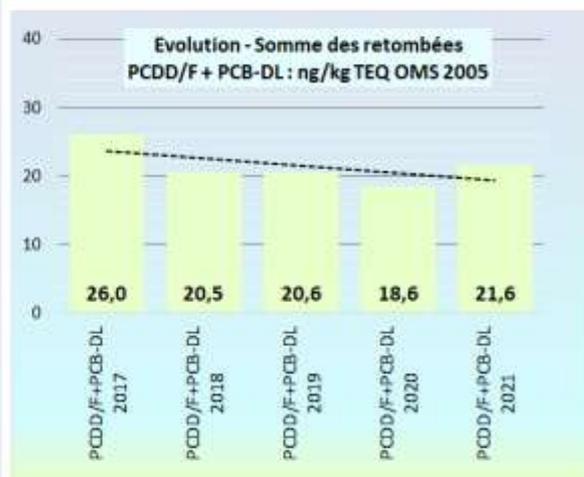
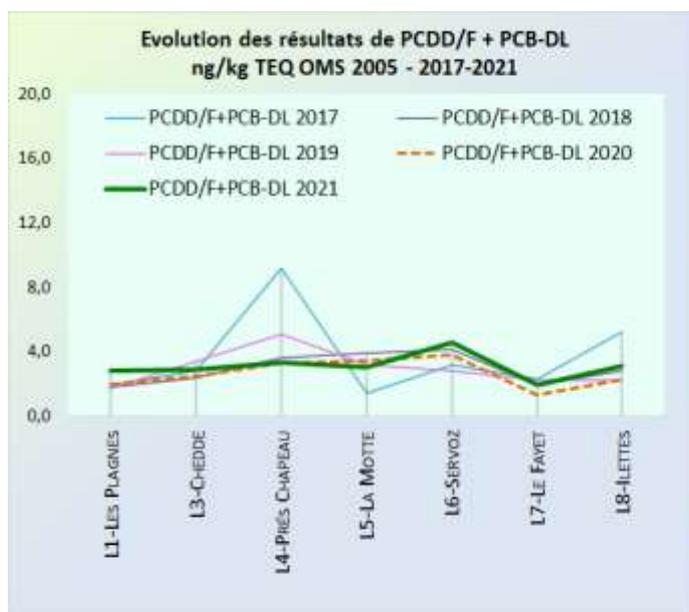
► **2017-2021** : Très peu de VS ont été repérées au moyen terme : en 2017 sur le témoin Ilettes (L8) et en 2021, à une faible valeur, sur L6-Servoz.

La hausse d'ensemble de 30% en 2021 est à comprendre dans des variations majoritairement de bruits de fond.

EVOLUTION DES PCDD/F + PCB-DL

Emplacements	PCDD/F + PCB-DL 2017	PCDD/F + PCB-DL 2018	PCDD/F + PCB-DL 2019	PCDD/F + PCB-DL 2020	PCDD/F + PCB-DL 2021	2021/2020	Evolution
L1-Les Plagnes	1,9	1,8	1,7	2,0	2,8		Bruit de fond
L3-Chedde	2,8	2,4	3,4	2,5	2,9		Bruit de fond
L4-Prés Chapeau	9,2	3,6	5,1	3,3	3,3		Bruit de fond
L5-La Motte	1,4	3,9	3,2	3,4	3,0		Bruit de fond
L6-Servoz	3,2	4,1	2,8	3,8	4,6	1,2	Devient VS
L7-Le Fayet	2,3	1,9	2,2	1,3	1,9		Bruit de fond
L8-Ilettes	5,2	2,8	2,2	2,3	3,1		Bruit de fond
Somme	26,0	20,5	20,6	18,6	21,6	1,2	Stable
VS	> 4,2			> 4,1			

Evolution des PCDD/F + PCB-DL en ng/kg TEQ OMS 2005 – En bleu : VS – selon la base de données Air Lichens



Evolution des PCDD/F + PCB-DL en ng/kg TEQ OMS 2005

 **2017-2021** : Peu de VS sont notées au moyen terme et L6-Servoz apparaît pour la première fois depuis 2017 au moins, principalement entraîné par sa valeur en PCDD/F. La somme d'ensemble maintient une décroissance entre 2017 et 2021 (courbe de tendance).

RESULTATS ETM

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.

- ✱ **BFBD** = Bruits de Fond selon la base de données d'Air Lichens.
- ✱ **VSBD** = **BFBD * 40%**. Valeurs Significatives selon la Base de Données (**VS BD**) en mg/kg.
- ✱ Le terme « significatif », **statistique, n'a pas de valeur sanitaire**, il s'agit d'une notion d'interprétation.
- ✱ **< L.q** = Inférieur à la limite de quantification analytique.

Les bruits de fond (BFBD) et les 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	Sb	As	Cd	Pb
L1-Les Plagnes	1,5	1,9	8,0	0,28	0,8	0,06	2,2
L3-Chedde	2,2	2,4	9,8	0,49	1,0	0,15	5,2
L4-Prés Chapeau	2,8	2,8	10,4	0,63	1,4	0,24	6,1
L5-La Motte	1,2	1,4	14,1	0,29	0,6	0,10	2,7
L6-Servoz	3,1	3,1	12,8	0,51	2,3	0,13	10,7
L7-Le Fayet	1,5	2,2	6,7	0,28	1,0	0,09	2,1
L8-Ilettes	1,9	2,6	11,9	0,71	1,0	0,05	2,6
BF BD	< 3,5	< 4,0	< 9,0	< 0,50	< 1,5	< 0,20	< 9,0
VS BD	> 4,9	> 5,6	> 12,0	> 0,70	> 2,0	> 0,30	> 12,0

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

Emplacements	V	Co	Tl	Mn	Hg	Zn	Charge totale
L1-Les Plagnes	1,5	0,39	< L.q	32	0,06	55	102,9
L3-Chedde	2,4	0,49	< L.q	29	0,05	64	116,8
L4-Prés Chapeau	2,6	0,77	< L.q	42	0,05	94	164,1
L5-La Motte	1,3	0,34	< L.q	26	0,05	49	96,7
L6-Servoz	4,4	0,77	< L.q	38	0,13	64	139,9
L7-Le Fayet	1,6	0,41	< L.q	32	< L.q	40	87,8
L8-Ilettes	1,9	0,52	< L.q	36	0,10	51	110,1
BF BD	< 4,0	< 0,80	0,0	< 120	< 0,15	< 50	
VS BD	> 5,6	> 1,10		> 170	> 0,20	> 70	

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

-  La charge métallique totale est modérée. L4-Prés Chapeau est le plus élevé (valeur du Zn).
-  Un total de 4 métaux est spécifié, sur un ou deux emplacements chacun : le Cu sur L5-La Motte et L6-Servoz, l'As sur L6-Servoz, l'Sb sur L8-Ilettes (témoin), le Zn sur L4-Prés Chapeau. Les valeurs sont modérées.
-  Les autres ETM et emplacements (L1-Les Plagnes, L3-Chedde, L7-Le Fayet) ne remarquent que des bruits de fond.
-  Au moyen terme, Ni, Cr, Pb, V, Co, Mn, Hg et Tl n'ont jamais été signifiés.



ETM VS dans les lichens sur fond OSM

Rayon de localisation : 3000m

En bleu : ETM VS

En vert : bruits de fond (RAS)

La flèche bleue indique l'usine, les carrés représentent les emplacements de prélèvements.

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 :

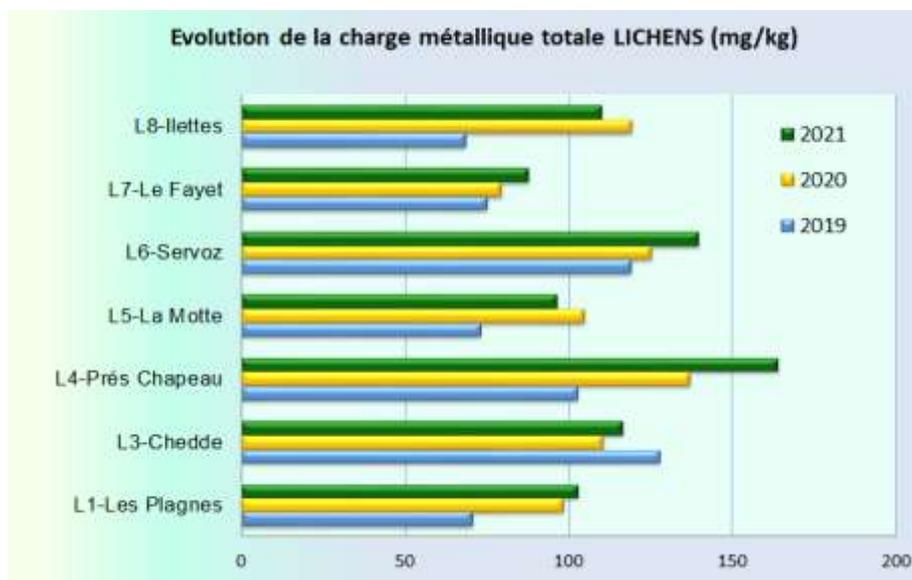
- 1) Les analyses d'évolution par métal sont pratiquées lorsque des retombées sont décelées.
- 2) Les variations des valeurs appartenant à des teneurs de fond ne donnent lieu à aucun commentaire. En effet, la surveillance environnementale annuelle n'a pas pour objectif d'analyser les variations ponctuelles 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.

Charge métallique totale

	2019	2020	2021	2021/2020	2021/2019	Evolution
L1-Les Plagnes	71	98	103	1,0	1,5	Hausse +50% par rapport à 2019
L3-Chedde	128	111	117	1,1	0,9	Stable
L4-Prés Chapeau	103	137	164	1,2	1,6	HS par rapport à 2019
L5-La Motte	73	105	97	0,9	1,3	Hausse +30% par rapport à 2019
L6-Servoz	119	125	140	1,1	1,2	Stable
L7-Le Fayet	75	80	88	1,1	1,2	Stable
L8-Ilettes	68	119	110	0,9	1,6	HS par rapport à 2019
TOTAUX	636,2	775,8	818,3	1,1	1,3	Hausse +30% vs 2019.

Evolution de la charge métallique (mg/kg)

► La **charge métallique totale globale** s'accroît de 30% entre 2019 et 2021 malgré une grande majorité de teneurs de base. L4-Prés Chapeau, L8-Ilettes (témoin), L1-Les Plagnes sont plus concernés.

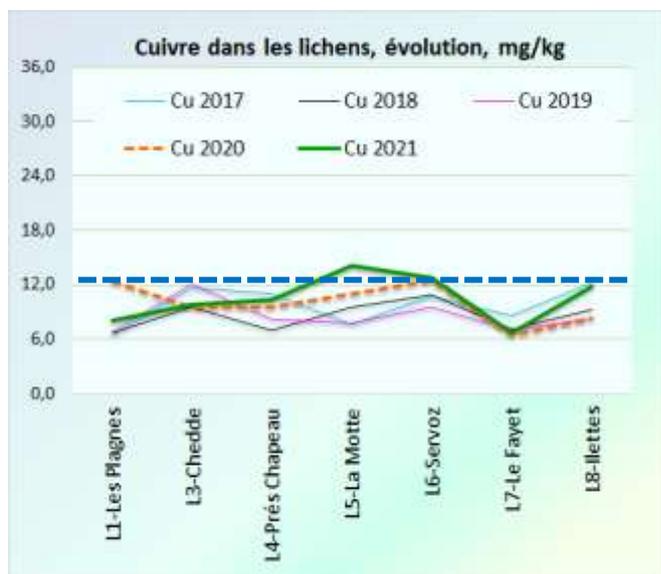
**Evolution de la charge métallique par emplacement (mg/kg)**

L'analyse de l'évolution (2017-2021) s'intéresse aux 4 ETM remarquables VS en 2021.

Evolution du Cuivre

CUIVRE	2017	2018	2019	2020	2021	2021/2020	Evolution
L1-Les Plagnes	6,4	6,7	6,9	12,3	8,0	0,6	Baisse -40%
L3-Chedde	11,7	9,5	12,0	9,5	9,8		Fond
L4-Prés Chapeau	10,9	7,0	8,2	9,5	10,4		Fond
L5-La Motte	7,6	9,6	7,7	10,9	14,1	1,3	Hausse +30%
L6-Servoz	10,7	10,8	9,5	12,4	12,8	1,0	Stable
L7-Le Fayet	8,6	7,1	6,9	6,4	6,7		Fond
L8-Ilettes	12,2	9,3	8,3	8,2	11,9		Fond
Somme	68,1	59,9	59,6	69,3	73,6	1,1	Stable
BF BD	< 9,0						
VS BD	> 12,0						

Evolution pour le cuivre (mg/kg)



Le cuivre, évolution (mg/kg)

En bleu pointillé : VS

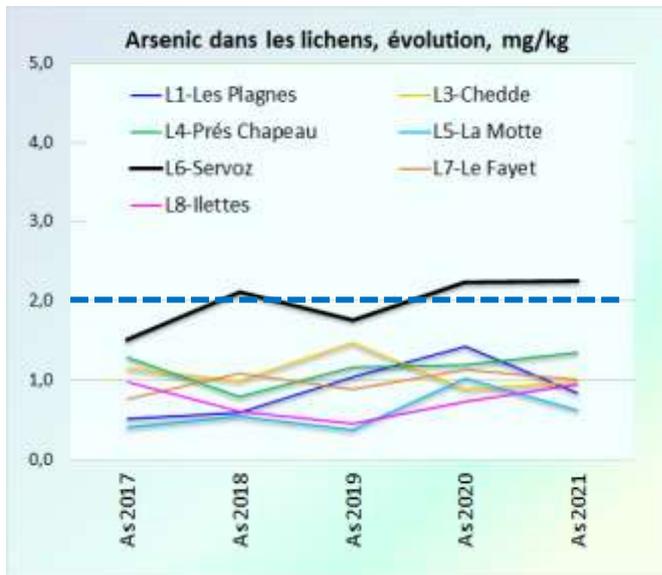
Base de données Air Lichens

► Le **cuivre** concerne L6-Servoz depuis 2020. La VS de 2020 sur L1-Les Plagnes a baissé pour un bruit de fond et L5-La Motte se remarque pour la première fois au moyen terme.

Evolution de l'Arsenic

ARSENIC	2017	2018	2019	2020	2021	2021/2020	Evolution
L1-Les Plagnes	0,5	0,6	1,0	1,4	0,8		Fond
L3-Chedde	1,1	1,0	1,5	0,9	1,0		Fond
L4-Prés Chapeau	1,3	0,8	1,2	1,2	1,4		Fond
L5-La Motte	0,4	0,5	0,4	1,0	0,6		Fond
L6-Servoz	1,5	2,1	1,8	2,2	2,3	1,0	Stable
L7-Le Fayet	0,8	1,1	0,9	1,1	1,0		Fond
L8-Ilettes	1,0	0,6	0,5	0,7	1,0		Fond
Somme	6,6	6,7	7,2	8,6	8,0	0,9	Stable
BF BD	< 1,5						
VS BD	> 2,0						

Evolution pour l'arsenic (mg/kg)



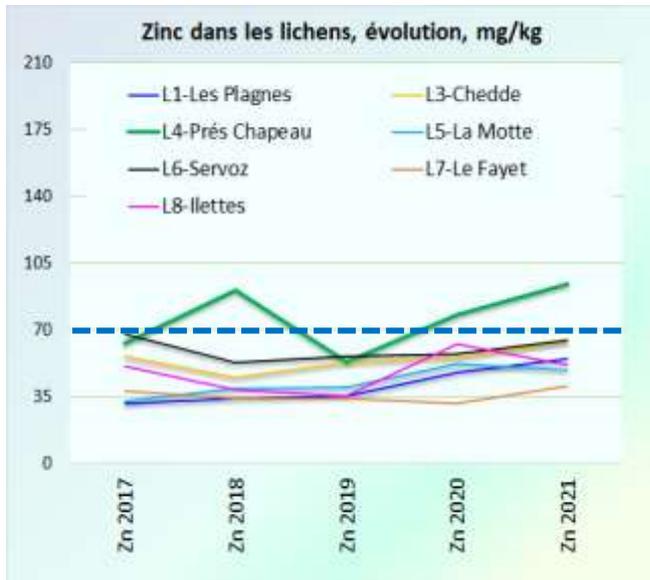
*L'arsenic, évolution (mg/kg)
En bleu pointillé : VS
Base de données Air Lichens*

► **L'arsenic** est exclusivement et régulièrement retrouvé sur L6-Servoz à des taux légèrement significatifs.

Evolution du Zinc

Zinc	2017	2018	2019	2020	2021	2021/2020	Evolution
L1-Les Plagnes	31	34	35	47	55		Fond
L3-Chedde	56	45	53	55	64		Fond
L4-Prés Chapeau	63	91	53	78	94	1,2	Stable
L5-La Motte	33	39	40	52	49		Fond
L6-Servoz	68	53	56	57	64		Fond
L7-Le Fayet	38	34	34	31	40		Fond
L8-Ilettes	51	38	35	62	51		Fond
Somme	339	333	306	383	417	1,1	Stable
BF BD	< 50						
VS BD	> 70						

Evolution pour le zinc (mg/kg)



Le zinc, évolution (mg/kg)

En bleu pointillé : VS

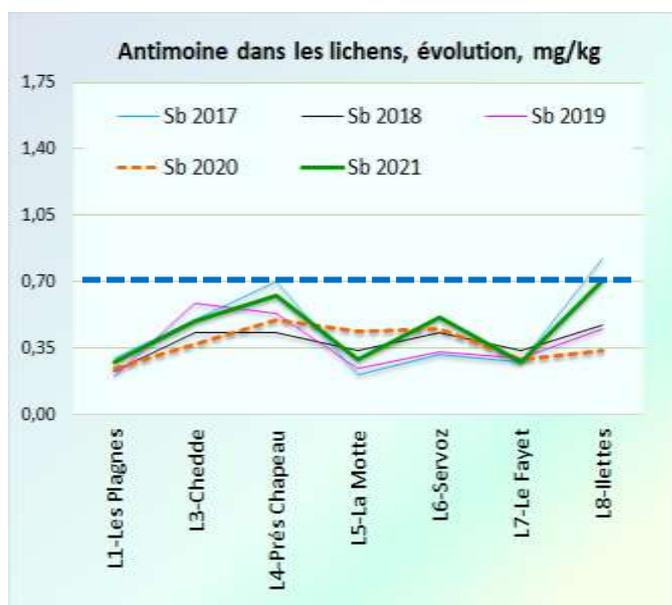
Base de données Air Lichens

► Le zinc est souvent visible sur L4-Prés Chapeau.

Evolution de l'Antimoine

ANTIMOINE	2017	2018	2019	2020	2021	2021/2020	Evolution
L1-Les Plagnes	0,30	0,23	0,20	0,24	0,28		Fond
L3-Chedde	0,50	0,43	0,59	0,37	0,49		Fond
L4-Prés Chapeau	0,70	0,43	0,53	0,50	0,63		Fond
L5-La Motte	0,21	0,34	0,24	0,44	0,29		Fond
L6-Servoz	0,32	0,43	0,33	0,45	0,51		Fond
L7-Le Fayet	0,28	0,34	0,30	0,29	0,28		Fond
L8-Ilettes	0,82	0,47	0,45	0,34	0,71	2,1	HS
Somme	3,1	2,7	2,6	2,6	3,2	1,2	Stable
BF BD	< 0,50						
VS BD	> 0,70						

Evolution pour l'antimoine (mg/kg)



L'antimoine, évolution (mg/kg)

En bleu pointillé : VS

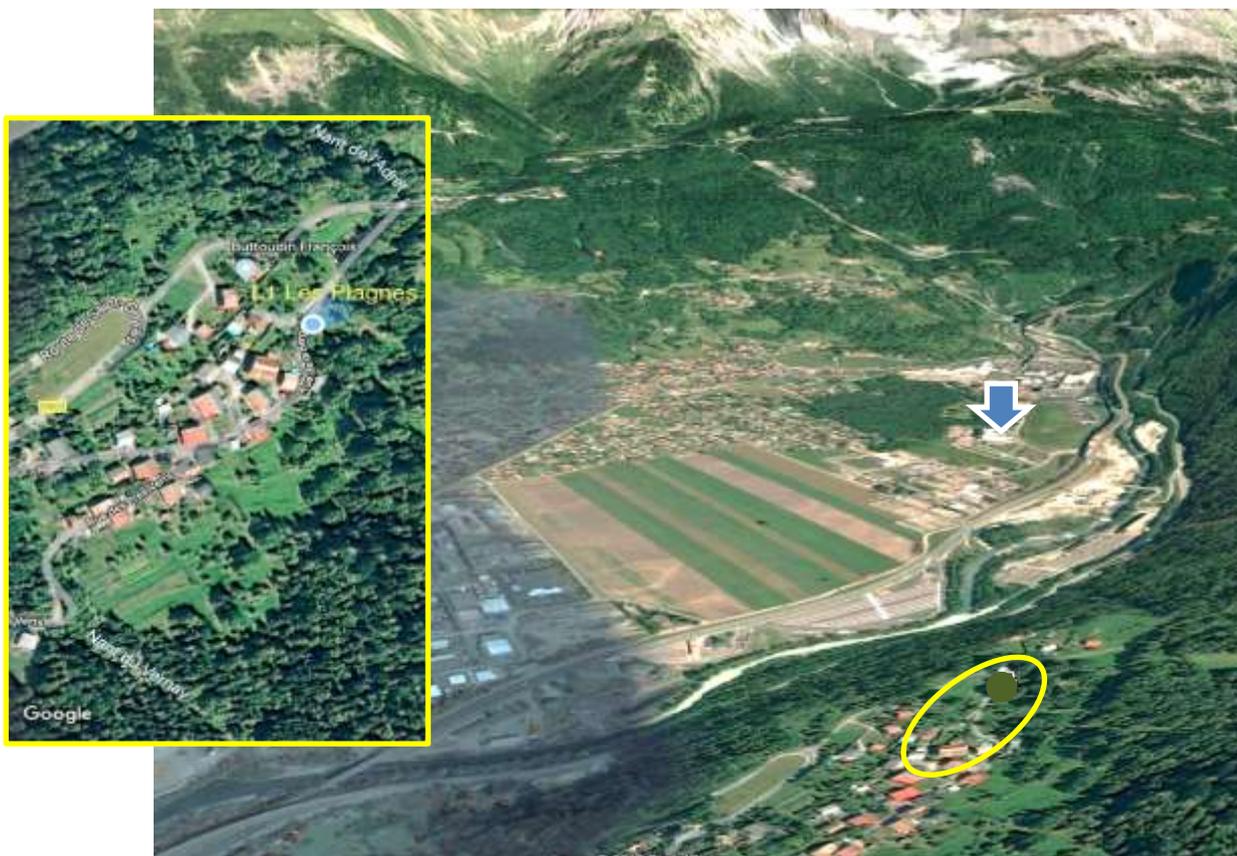
Base de données Aair Lichens

► L'antimoine peut, rarement, concerner le témoin L8-Ilettes donc sans relation avec l'usine Suez RV Energie.

IDENTIFICATIONS VISUELLES

LICHENS

L1 LES PLAGNES



Vues satellitaires vers L1-Les Plagnes et l'usine en arrière-plan – Exports GGE - Google



Vue vers la vallée



L1, espace de prélèvement

L3 CHEDDE



Vues satellitaires vers L3-Chedde – Exports GGE - Google



Deux vues de l'espace de prélèvements

L4 PRES CHAPEAU



Vues satellitaires vers L4-Prés Chapeau (Exports GGE - Google)



Le secteur de prélèvement, vue vers les habitats proches



L'usine à partir de L4-Prés Chapeau

L5 LA MOTTE



Vues satellitaires vers L5-La Motte – Exports GGE, Google



Prélèvement en secteur de prairies



Vue vers la vallée

L6 SERVOZ



Vues satellitaires vers L6-Servoz (exports GGE, Google)



L'église de Servoz



Vue vers les biocapteurs

L7 LE FAYET



L7-Le Fayet, vue satellitaire Bing Map



Aperçu proche du prélèvement

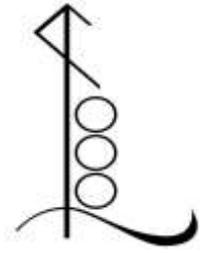
L8 TEMOIN ILETTES



Exports plongeants vers L8-Ilettes, images GGE et Bing Map



Vue du prélèvement et vue vers la vallée



BIOSURVEILLANCE

LA BIOSURVEILLANCE S'INSCRIT DANS LE CADRE DU SUIVI DE L'IMPREGNATION ENVIRONNEMENTALE EN PCDD/F, PCB-DL & ETM.

ANNEES 2017 à 2021

- Diverses phases de Biosurveillance

ANNEE 2022 et suivantes

- Poursuite et suivi des données

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



SAVOIR-FAIRE PRELEVEMENTS

PROCOLE 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'Air Lichens dédiée R&D

Implants Ilibagues® : la Zone Témoin d'Air 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, métaux).

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

La Zone Témoin d'Air 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'Air 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 Lallemand, alors Enseignant Chercheur dans cette Université.

Le Dr Richard Lallemand 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.

Lorsque vous confiez un travail à la société Air Lichens,
Vous participez à une recherche en cancérologie.



Air Lichens apporte son soutien à :

Un nouveau traitement pour les cancers du système nerveux de l'enfance

La description courte du projet

(Bilan de l'activité 2020, Pr. Stéphane Birklé, Fondation de l'Université de Nantes).

Les lymphocytes T CAR représentent une nouvelle forme d'immunothérapie qui associe la thérapie génique à la thérapie cellulaire. Les lymphocytes du patient sont traités par thérapie génique pour qu'ils expriment un récepteur chimérique à l'antigène CAR (de l'anglais *chimeric antigen receptor*). Ce récepteur permet aux lymphocytes de détecter et de détruire les cellules tumorales une fois réinjecté chez le patient. Ce mode de traitement permet de traiter les patients atteints de leucémie aiguë lymphoblastique en rechute ou réfractaire.

Au sein du Centre de Recherche en Cancérologie et Immunologie de Nantes Angers, une équipe de recherche développe cette immunothérapie pour le traitement des cancers pédiatriques du système nerveux centrale et périphérique.

Les publications

Dépôt de 2 demandes de brevet

Le projet en quelques mots clés

Cancer de l'enfance ; Gliome ; Neuroblastome ; Immunothérapie ; Lymphocytes T CAR

Les mécènes de la Fondation de l'Université de Nantes sont présentés sur la page web FUN capture d'écran ci-dessous : <https://fondation.univ-nantes.fr/nos-mecenes>



Engagement environnemental

Chaque collaboration avec Aair 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, et nous participons ensemble à un reboisement dans les forêts primaires du Cameroun.

Ceci 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 Aair Lichens.

AAIR 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 : aair.lichens@wanadoo.fr

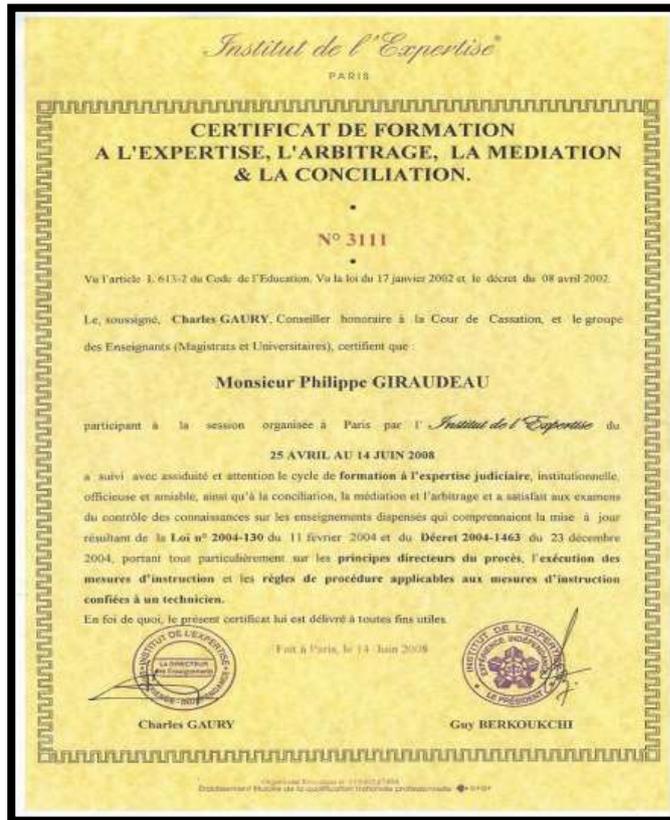
Dr Richard Lallemand : Maître de Conférences,
Conseil Scientifique et Consultant.

Tél. : 02 40 30 14 90
E-mail : aair.lichens@wanadoo.fr

Membre à titre de personnalité qualifiée du réseau de surveillance de la qualité de l'air Air Pays de la Loire.

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 GIRAUDEAU**DECISION D'AGREMENT**

Le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche a accordé l'agrément, prévu au 11d 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

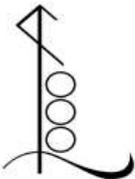


MARQUES ET BREVET

Les méthodes et procédés mis au point par la société Aair 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	103710494
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 par collecte ou culture.

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 des 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 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

Air Lichens, représentée par le Pr Richard Lallemant, 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'AIR LICHENS A L'ELABORATION DE NORMES

FRANCE, commission de Normalisation AFNOR T95R, Participation Air 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 Air 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 AIR 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 (modification de la norme de 2003).
- **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 :	<i>Dont le pH est acide.</i>
Apothécies :	<i>Fructifications en forme de coupe, variables en taille, couleur et localisation selon les espèces.</i>
Autotrophe :	<i>Qui suffit à sa propre subsistance.</i>
Basiline :	<i>Dont le pH est basique.</i>
Biocapteur :	<i>Organisme vivant qui capte les modifications de la qualité de l'air physiquement ou chimiquement.</i>
Bioindication :	<i>Evaluation de la qualité des milieux à l'aide de matériaux vivants connus pour leurs capacités de sentinelles des milieux.</i>
Biosurveillance :	<i>Utilisation du vivant pour surveiller des modifications ou la stabilité de la qualité du milieu.</i>
Bryophytes :	<i>Les mousses sont des bryophytes.</i>
Communauté lichénique :	<i>Ensemble des espèces de lichens qui se développent et se perpétuent naturellement conjointement dans les mêmes sites et les mêmes conditions.</i>
Corticole :	<i>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.</i>
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>
Nitrophobe :	<i>Qui ne supporte pas l'azote en excès.</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>
Thalle :	<i>Ensemble de l'appareil végétatif du lichen, sans tiges, feuilles ni racines.</i>
Valeur écologique :	<i>Conception à rapprocher de la poléophilie ou de la poléophobie. Les espèces poléophiles ont une basse valeur écologique.</i>
V.S. :	<i>Valeur significative (par rapport aux teneurs de base – Sans signification sanitaire)</i>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ces références ne sont pas exhaustives mais présentent un état des lieux de la bibliographie utilisée par Air Lichens.
Une liste de sources encore plus complète peut être fournie sur demande.

Livres

- AMIARD (Jean-Claude), 2011 – *Les risques chimiques environnementaux, méthodes d'évaluation et impacts sur les organismes*, Tec & Doc, 782 p.
- ANDRE p., DELISLE C. E., REVERET J.-P., 2010 - *L'évaluation des impacts sur l'environnement*, 3^{ème} édition, Processus acteurs et pratique pour un développement durable, Presses Internationales Polytechniques, avec CD-ROM, Canada, 348p.
- BIOCCHI (S.), BOULINGUEZ (M.), DIARD (K.), 2009 – *Les polluants et les techniques d'épuration des fumées, Cas des unités de traitement et de valorisation des déchets*, 2^{ème} édition, Etat de l'Art, Editions TEC&DOC, Record, Lavoisier, Lassay-les-Châteaux, 387p.
- BOAMPONSEM L. K ., 2016 – *Biomonitoring of Elemental Atmospheric Deposition with the Lichen, Parmotrema reticulatum, in the Greater Auckland Region of New Zealand*, Thèse, The University of Auckland, 358p.
- CONTI (M.E), 2008- *Biological Monitoring: Theory and Applications: Bioindicators and Biomarkers for Environmental Quality and Human Exposure Assessment (The Sustainable World)*, WIT Press, 256p.
- DOBSON (Frank S.), 2011 – *Lichens: An Illustrated Guide to the British and Irish Species*, Richmond Publishing, Cornwall, England, 496p.
- FRAHM J.P., SCHUMM F., STAPPER N.J., 2010 - *Epiphytische Flechten als Umweltgütezeiger*, Books on demand GmbH, Norderstedt, 164p.
- 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.
- KULARATNE I., 2012 – *Performance of Lichen Species as Air Pollution Biomonitorers in the Greater Auckland Urban Area, New Zealand*, Thèse, The University of Auckland, 349p.
- KUMAR UPRETI D. & C° - 2015 – *Recent Advances in Lichenology – Modern Methods and Approaches in Biomonitoring and Bioprospection*, Springer India, New Delhi, Volume 1, 265 p.
- KUMAR UPRETI D. & C° - 2015 – *Recent Advances in Lichenology – Modern Methods and Approaches in Lichen Systematics and Culture Techniques*, Springer India, New Delhi, Volume 2, 232 p.
- LAVE (Lester B.), Seskin (Eugène P.), 2011 – *Air Pollution and Human Health*, collection Poli, RFF Press, 368p.
- MCMULLIN T., ANDERSON F., 2015 – *Common lichens of Northeastern North America: A Field Guide (Memoirs of the New York Botanical Garden Volume 112)*, New NYBG Press Book, 192p.

ROUX C. & C°, 2014 – *Catalogue des lichens et champignons lichénicoles de France métropolitaine*, éd. Editions d'Art Henry des Abbayes, Publication de l'Association française de lichénologie, 1525p.

SCHUMM F., ELIX J.A., 2014 – *Images from Lichenes Australasici Exsiccati and if other characteristic*, *Australasian Lichens*, Volume I, Felix Schumm, Herstellung und Verlag: Books on Demand GmbH, Norderstedt, 665p.

SCHUMM F., ELIX J.A., 2014 – *Images from Lichenes Australasici Exsiccati and if other characteristic*, *Australasian Lichens*, Volume II, Felix Schumm, Herstellung und Verlag: Books on Demand GmbH, Norderstedt, 1327p.

SHUKLA V. & C°, 2014 – *Lichens to Biomonitor the Environment*, Springer, 185p.

SLAMA R., 2017 – *Le mal du dehors, L'influence de l'environnement sur la santé*, Quae, 376p.

STENROOS S., VELMALA S., PYKALA J., AHTI T., 2016 – *Lichens of Finland*, *Finnish Museum of Natural History*, Norrlinna 30, 896p.

UPRETI & C°, 2015 – *Recent Advances in Lichenology*, Modern Methods and Approaches in Lichen Systematics and Culture Techniques, éd. Springer, 2 Volumes.

WILLEM J.-P., 2017 – *Pollutions et santé, Faire face à toutes les pollutions et les enrayer*, Dangles Editions, Collection référence, Piktos, 432p.

Articles

ABOAL J.R., A. PÉREZ-LLAMAZARES, A. CARBALLEIRA, S.GIORDANO, J.A. FERNÁNDEZ, 2011 – Should moss samples used as biomonitors of atmospheric contamination be washed ?, *Atmospheric Environment* 45, pp.6837-6840.

BLANCHON D. J., 2013 – "Auckland lichens", *Auckland Botanical Society* 68 pp.21-27.

BOAMPONSEM L. K., FREITAS (de) C. R., WILLIAMAS D., 2017 – "Source apportionment of air pollutants in the Greater Auckland Region of New Zealand using receptor models and elemental levels in the lichen, *Parmotrema reticulatum*", *Atmospheric Pollution Research*, pp.101-113.

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.

JOHANSSON (Otilia), PALMQVIST (Kristin), OLOFSSON (Johan), 2012 – "Nitrogen deposition drives lichen community changes through differential species responses", *Global Change Biology*, 18, pp.2626-2635.

KULARATNE K. I. A., FREITAS (de) C. R., 2013 – "Epiphytic lichens as biomonitors of airborne heavy metal pollution", *Environmental and Experimental Botany* 88 pp.24-32.

KUMAR Upreti Dalip, DIVAKAR Pradeep K., SHUKLA Vertika, BAJPAI Rajesh, 2015 – *Recent Advances in Lichenology, Modern Methods and Approaches in Biomonitoring and Bioprospection, Volume 1*, Springer India, 273p.

LANGE (de) P. J., GALLOWAY D. J., BLANCHON D. J., KNIGHT A., ROLFE J. R., G. M. CROWCROFT, HITCHMOUGH R., 2012, "Conservation status of New Zealand lichens", *New Zealand Journal of Botany*, 50:3, pp.303-363.

PAOLI (L.), CORSINI (A.), BIGAGLI (V.), VANNINI (J.), BRUSCOLI (C.), LOPPI (S.), 2012 – "Long-term biological monitoring of environmental quality around a solid waste landfill assessed with lichens", *Environmental Pollution*, 161, pp.70-75.

REYNOLDS C. L., ORHAN A. H. Er, WINDER L., BLANCHON D. J., 2017 – "Distribution and community composition of lichens on mature mangroves (*Avicennia marina* subsp. *Australasica* (Walp.) J.Everett) in New Zealand", *PLOS ONE* 12(6) 22p.

RUSU A.-M., JONES G.C., CHIMONIDES P.D.J., PURVIS O.W., 2006 – Biomonitoring using *Hypogymnia physodes* and bark samples near Zlatna, Romania immediately following closure of a copper ore-processing plant, *Environmental Pollution*, 143, pp.81-88.

SAWERSYN J.-P., 2012 – La combustion du bois et ses impacts sur la qualité de l'air, *Air Pur* n°81, pp.7-16.

SHUKLA Vertika, D.K. UPRETI, BAJPAI Rajesh, 2014 – *Lichens to biomonitor the environment*, Springer India, 185p.

SPIER (L.), VAN DOBBEN (H.), VAN DORT (K.), 2010 – « Is bark pH more important than tree species in determining the composition of nitrophytic or acidophytic lichen floras? », *Environmental pollution*, n°158, pp.3607-3611.

SVOBODA (David), PEKSA (Ondřej), VESELÁ (Jana), 2010 – "Epiphytic lichen diversity in central European oak forests: Assessment of the effects of natural environmental factors and human influences", *Environmental Pollution*, 158, pp.812-819.

VIANNA N.A., GONCALVES D., BRANDAO F., BARROS R.P. de, FILHO G.M.F., MEIRE R.O., TORRES J.P.M., MALM O., JUNIOR A. D'O., ANDRADE L.R., 2011 – « Assessment of heavy metals in the particulate matter of two Brazilian metropolitan areas by using *Tillandsia usneoides* as atmospheric biomonitor », *Environ. Sci. Pollut. Res.* 18, pp.416-427.

WAHID SAMSUDIN, M., SAID I. M. DIN L.b., YUSOFF I., LATIFF A., "Chemotaxonomic studies of Lichens from Sayap-Kinabalu, Sabah: Constituents of *Pseudocyphellaria*, *Lobaria* and *Peltigera*", - 1998 ASEAN Review of Biodiversity and Environmental Conservation (ARBEC), pp.1-7.

WARD N.I., SAVAGE J.M., 1994 – Metal dispersion and transportational activities using food crops as biomonitors, *The Science of the Total Environment* 146/147, 309-319.

WILLIAM PURVIS (O), PAWLIK-SKOWROŃSKA (Barbara), 2008- Lichens and Metals, chapter 12, *British Mycological Society Symposia Series*, Volume 27, pp.175-200.

Etudes-guides - Sitographie

- ADEME, juillet 2017, *TROPHÉ, Transferts et Risques des Organiques Persistants pour l'Homme et les Ecosystèmes, livrable n°3, Evaluation des expositions, Expertises*, en partenariat avec l'INERIS, 117p.
- ADEME, *Pollution atmosphérique par les métaux en France, Dix ans de biosurveillance des retombées*, EDP Sciences, Mai 2013, 178 p.
- ADEME, *Programme de recherche de l'ADEME sur les émissions atmosphériques du compostage*, Connaissances acquises & synthèse bibliographique, Juillet 2012.
- ADEME, *Les émissions agricoles de particules dans l'air, Etat des lieux et leviers d'action, Conseillers & techniciens agricoles*, Connaitre et agir, Mars 2012.
- ADEME, *Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020*, rapport final novembre 2009.
- ADEME, *Contamination des plantes potagères dans un environnement potentiellement pollué, deux nouveaux outils d'évaluation*, MEEDDAT, 2 avril 2008.
- ADEME, 2008 – *Pollutions olfactives, origine, législation, analyse, traitement*, 2^{ème} édition, L'Usine Nouvelle, Dunod, Saint Just-la-Pendue, 390p.
- ADEME, *Guide méthodologique d'échantillonnage de plantes potagères cultivées à proximité d'une installation industrielle actuelle ou ancienne en vue d'en déterminer la qualité d'un point de vue sanitaire, Contamination de plante potagères dans un environnement potentiellement pollué*, Pollutec 2007.
- ADEME, INERIS, *Guide des plantes potagères dans le cadre de diagnostics environnementaux*, 2007.
- AUCKLAND COUNCIL, *The Health of Auckland's Natural Environment in 2015*, 216p.
- BODENAN (F.), NOWAK (C.) – *Dioxines dans les sols français : un premier état des lieux, rapport final*, BRGM/RP-54202-FR, Décembre 2005
- BODENAN (F.), MICHEL (P.) – *Dioxines/furannes dans les sols français : second état des lieux, analyses 1998-2007, rapport final*, BRGM/RP-56132-FR, mars 2008.
- BODENAN (F.), MICHEL (P.) – *Dioxines/furannes dans les sols français : troisième état des lieux, analyses 1998-2012, rapport final*, BRGM/RP-63111-FR, décembre 2013.
- CITEPA, Emissions dans l'air en France métropole, substances relatives à la contamination par les Polluants Organiques Persistants http://www.citepa.org/emissions/nationale/Pop/Emissions_FRmt_POP.pdf
- CONSEIL SUPERIEUR D'HYGIENE PUBLIQUE DE FRANCE, Section des milieux de vie, 2011 – *Qualité de l'air dans les modes de transport terrestres*, Rapport du groupe de travail « air et transports », Lavoisier, Lassay-les-Châteaux, 162p.
- Document de référence sur les meilleures techniques disponibles (BREF) : grandes installations de combustion, 2018 – Installations classées, développement durable, 5p. <http://www.installationsclassées.developpement-durable.gouv.fr/Document-de-referance-sur-les.html>
- IARC Working Group, International Agency for Research on Cancer, *Benzof[a]pyrene*, Monograph 100F-14, 36, Sup 7, 92, Cas No. 50-32-8, 2012, 34p. <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono100F-14.pdf>
- INERIS, Bilan des choix de VTR disponibles sur le portail des substances chimiques de l'INERIS, mise à jour fin 2018, Rapport d'étude DRC-18-170856-11674A, 28/01/2019, 64p.
- INERIS, *Synthèse des valeurs réglementaires pour les substances chimiques, en vigueur dans l'eau, les denrées alimentaires et dans l'air en France au 31 décembre 2017*, rapport d'étude DRC-17-164559-10404A, 13.03.2018.
- INERIS, *Caractérisation de l'état des milieux sols, eaux et végétaux dans l'environnement des installations industrielles, Utilisation de l'Environnement local témoin*, 2017 – Rapport d'étude, Rapport élaboré pour le MEEM, INERIS-DRC-15-151883-01265B, 54p.
- INERIS, *Caractérisation de l'état des milieux sols, eaux et végétaux dans l'environnement des installations industrielles, Utilisation de l'Environnement local témoin*, rapport d'étude DRC-15-151883-01265B, 05/04/2017.
- INERIS, *Guide surveillance dans l'air autour des installations classées, retombées des émissions atmosphériques, impact des activités humaines sur les milieux et la santé*, DRC-16-158882-12366A, novembre 2016.

- INERIS, *Choix de valeurs toxicologiques de référence (VTR), Méthodologie appliquée par l'INERIS, impact des activités humaines sur la santé, Première édition*, décembre 2016 – DRC-16-156196-11306A, 68p.
- INERIS, *Guide sur la stratégie de prélèvements et d'analyses à réaliser suite à un accident technologique – cas de l'incendie*, Version 2.0, 2015 – Rapport, Rapport réalisé pour le Ministère en charge de l'Ecologie, personnes ayant participé à l'étude : François Gautier, Frédéric Tognet, INERIS-DRC-15-152421-05361C, 48p.
- INERIS, *Synthèse des valeurs réglementaires pour les substances chimiques, en vigueur dans l'eau, les denrées alimentaires et dans l'air en France au 1^{er} décembre 2013*, rapport d'étude DRC-14-142522-01489A, août 2014.
- INERIS, *Etat de l'art des procédés de décontamination d'appareils contenant des PCB et techniques de maîtrise des émissions associées*, rapport DRC-13-133121-03381A, 10/10/2013.
- INERIS, *Etat de l'art des procédés de décontamination d'appareils contenant des PCB et techniques de maîtrise des émissions associées*, 2013 – Rapport, Rapport réalisé pour le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie – Direction Générale de la Prévention des Risques – Bureau de la Prospective, de l'Evaluation et des Données, INERIS-DRC-13-133121-03381A, 135p.
- INERIS, *Synthèse des valeurs réglementaires pour les substances chimiques, en vigueur dans l'eau, les denrées alimentaires et dans l'air en France au 1^{er} décembre 2011*, rapport d'étude DRC-12-115719-00099B, 30.01.2013.
- INERIS, 2011. *Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Les polyChloroBiphenyles (PCB)*, DRC-11-118962-11081A, 89p.
- INPN, ONB, *La biodiversité en France, 100 chiffres expliqués sur les espèces*, mai 2019.
- INRS, *Cartographie des expositions aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) par secteur d'activité : focus sur la surveillance biologique des expositions professionnelles*, TC 162, Grand Angle, Références en santé au travail, n°154, pp.51-63, Juin 2018.
- KNIGHT A., 2014 - *Lichens of New Zealand, An Introductory Illustrated Guide*, 55p. <https://fr.scribd.com/document/234100144/Lichens-of-New-Zealand-an-Introductory-Illustrated-Guide>
- LAJOIE Pierre, « Les Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) », *Polluants vedettes, Ma santé, mon environnement*, Centre de santé publique de la région de Québec, http://ecoroute.uqcn.qc.ca/envir/sante/4_pv3.htm
- MARANO F., *Toxicité des particules Diesel sur les cellules épithéliales des voies aériennes chez l'homme, laboratoire de Cytophysiology et Toxicologie Cellulaire*, http://www.info-systel.com/jbreton/toxicite_particules_diesel.htm
- NIMIS (Pier Luigi), HAFELLNER (Josef), ROUX (Claude), CLERC (Philippe), MAYRHOFER (Helmut), MARTELLOS (Stefano), BILOVITZ (Peter O.), 2018 – The lichens of the Alps – an annotated checklist, MycoKeys 31: 1-634, Monograph, 634 p. <https://mycokeys.pensoft.net/articles.php?id=23568>
- ROUX C., 2017- *Catalogue des lichens et champignons lichénicoles de France Métropolitaine*. 1172p. http://www.afl-lichenologie.fr/telecharger/Doc/2017CLF_Tome1_Texte.pdf Sawyer J., Forbes A., 2013 – “Threatened and unique biodiversity assets of Auckland” *Natural Heritage*, Auckland Council, 44p.
- SINGERS N., OSBORNE B., LOVEGROVE T., JAMIESON A., BOOW J., SAWYER J., HILL K., ANDREWS J., HILL S., WEBB C., - *Indigenous terrestrial and wetland ecosystems of Auckland*, Auckland Council, 76 p., 2017.
- TALBOT N., REID N., CRIMMINS P., 2017 – *Auckland Ambient Air Quality Trends for PM_{2.5} and PM₁₀ – 2006-2015*, Technical report 2017/029, 46p.
- VUST M., CLERC P., HABASHI C., MERMILLIOD J.-C., 2015 – *Liste rouge des lichens du canton de Genève*, Publication hors-série n°16, Conservatoire et Jardin Botaniques de la ville de Genève, 81p. https://www.researchgate.net/publication/273000344_Liste_Rouge_des_lichens_du_canton_de_Geneve

Revue / Sites web spécialisés

- AFNOR – diverses normes
- Citepa (format SECTEN), annuellement
- EFSA
- ANSES
- Australasian Lichenology
- Bulletin de l'Association Française de Lichénologie
- Bulletin de l'Association Internationale de Lichénologie
- Environnement et Techniques
- INERIS, *Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques*
- 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). Air 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®, Air 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 de 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 / ° asec.asso / X Recherches Air Lichens – Ch. Urb. = chauffage urbain / Z : ANSES

FICHE ETM, SOURCE : CITEPA 2021

9 métaux sont annuellement surveillés par le CITEPA : As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se et Zn. Les explications suivantes proviennent du CITEPA : principalement format SECTEN 2021 et rapport mars 2021 de « l'Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France métropolitaine », format CEE-NU.

Evolutions :

Période 1990-2019. Parmi ces neuf métaux, tous voient leurs émissions diminuer à l'exception du cuivre (+5%). Les baisses sont comprises entre 29% (Sélénium) et 98% (Plomb). Mise à part pour le cuivre et le sélénium, les baisses constatées sont supérieures à 70%.

Réglementation :

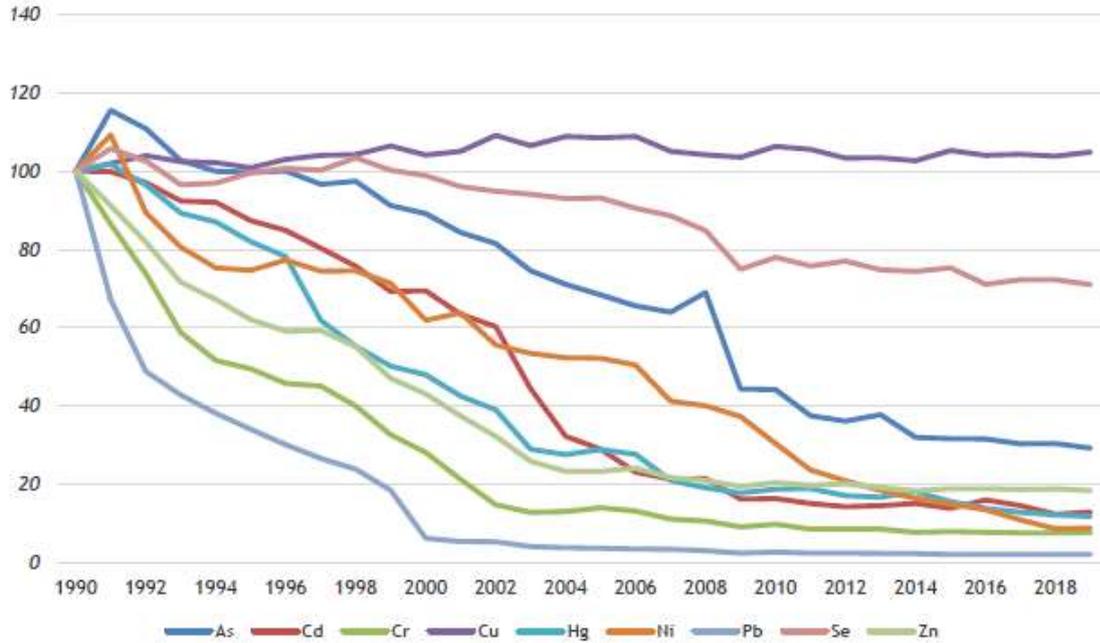
Au niveau international, les métaux les plus toxiques sont réglementés : mercure (Hg), plomb (Pb) et cadmium (Cd).

En France, les arrêtés relatifs aux installations classées pour l'environnement, tels que l'arrêté du 2 février 1998 modifié et les arrêtés relatifs aux installations de combustion limitent les émissions de nombreux métaux en fixant des Valeurs Limites d'Émissions (VLE) à ne pas dépasser pour : antimoine (Sb), arsenic (As), cadmium (Cd), chrome (Cr), cobalt (Co), cuivre (Cu), étain (Sn), manganèse (Mg), mercure (Hg), nickel (Ni), plomb (Pb), sélénium (Se), tellure (Te), thallium (Tl), vanadium (V) et zinc (Zn) (Arrêté 1998).

Les métaux lourds réglementés en termes de qualité de l'air et faisant l'objet d'un suivi en termes de concentrations dans l'air ambiant, selon la directive 2004/107/CE modifiée, sont les suivants : le mercure, le plomb, le cadmium et l'arsenic.

Les autres métaux, peuvent faire l'objet de surveillance locale près des sites industriels ou de campagnes de mesures ponctuelles.

Selon les travaux EMEP, le transport des métaux lourds à longue distance est démontré. Ainsi 60 à 100 % des émissions de Pb et de Cd des pays sont déposés à l'extérieur du pays. Pour le mercure, c'est entre 80 et 100 %. En France, 50% des dépôts de plomb, par exemple, sont d'origine extérieure au territoire (AAS 2016).



Evolution des émissions de métaux lourds entre 1990 et 2019 (base 100 en 1990)

Rapport mars 2021 de l'Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France métropolitaine, format CEE-NU, CITEPA.

Les ETM 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.

EMISSIONS DANS L'AIR EN 2019 EN FRANCE METROPOLITAINE EN t, secteurs										
		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Pb	Se	Zn
1	Industrie de l'énergie dont	0,4	0,4	2,7	2,7	4,9	0,5	4,5	0,5	19,5
	Chauffage urbain	0,3	0,05	1,6	1,0	0,6	0,1	3,0	0,2	9,6
2	Industrie manufacturière et construction dont	1,9	1,1	9,7	8,1	12,8	1,6	32,6	7,2	72
	Papier, carton (sous-secteur d'industrie manufacturière)	0,1	0,02	0,7	0,5	0,7	0,0	1,3	0,1	4,2
3	Traitement centralisé des déchets	0	0,2	0,1	0,2	0,1	0,4	3,1	0	3,1
4	Résidentiel / tertiaire	1,0	0,2	5,0	6,2	1,7	0,2	13,4	0,7	76,5
5	Agriculture	0,1	0,2	0,4	0,3	0,6	0	0,8	0,1	8,3
6	Transports	1,6	0,5	12,4	252,5	5,0	0,2	30,4	0,7	204,5
	Emissions dans l'air en France métropolitaine - Total	5,1	2,6	30,3	270,0	25,1	3,0	84,8	9,1	384

Principales émissions en 2019 en France, Mg=t, secteurs et les sous-secteurs chauffage urbain et papier-carton, d'après CITEPA format SECTEN avril 2021. Surlignés de jaune : valeurs « élevées » pour le secteur en question et en bleu pour le métal (si différent).

	Origines (seules sources anthropiques précisées)	Effets	Evolution
ARSENIC (As)	Combustibles minéraux solides, fioul lourd, bois-énergie, biomasse, carburants, production de verre, métallurgie des métaux ferreux et non ferreux, usure routes, abrasion pneus et freins	Classé cancérigène groupe 1 par le CIRC et est très irritant pour le système respiratoire et la peau	Forte baisse. Très forte baisse de consommation de combustibles minéraux pour la production de verre. Diminution très forte de la consommation de gaz de hauts fourneaux dans les ateliers d'agglomération à partir de 2005. Quasi-totale disparition de l'ajout d'As lors du process de production de verre a (mais peut être émis lors de l'utilisation du verre recyclé). Mise en place dans les aciéries électriques de dépoussiéreurs plus efficaces et plus nombreux.
CADMIUM (Cd)	Production de zinc, combustibles fossiles solides, fioul lourd, biomasse, incinération de déchets (y compris boues), sidérurgie, métallurgie des métaux non ferreux, huiles moteur, abrasion pneus et freins	Très irritant pour le système respiratoire, classé cancérigène, mutagène et reprotoxique Toxique pour les reins (UE, règlement 2021/1323 – dose hebdomadaire de 2,5 µg/kg de poids corporel)	Baisse : progrès réalisés dans les secteurs industriels (sidérurgie et métallurgie des métaux non ferreux : mise en place de dépoussiéreurs et évolution de la composition des matières entrantes dans ces process). Secteurs de l'énergie et des déchets, baisse principalement liée au développement du traitement des fumées dans les usines d'incinération, avec et sans récupération d'énergie.
CHROME – Chrome VI (Cr)	Majoritairement émis par l'industrie manufacturière (fonderies de fonte, aciéries électriques, production de verre). Aussi biomasse, carburants. La forme hexavalente (chrome VI) est principalement liée aux activités humaines, combustibles fossiles solides, fioul lourd et biomasse.	Le chrome hexavalent est classé cancérigène groupe 1 mais les autres formes ne le sont pas	Forte baisse. Réduction des rejets industriels (sidérurgie => mise en place de dépoussiéreurs plus efficaces et plus nombreux, forte baisse de l'activité sidérurgique en France depuis les années 90).
CUIVRE (Cu)	Surtout émis par le secteur des transports (ferroviaires (usure des caténaires) et routiers (usure des plaquettes de frein)) et par les aciéries électriques.	Toxicité chronique par voie orale : foie, reins et estomac.	Seul polluant en hausse sur 1990-2019. Secteurs relatifs aux transports : accroissement du trafic routier (usure des plaquettes de frein) et du trafic des trains électriques (usure des caténaires). Hausse des émissions non énergétiques issues des huiles dans les moteurs 4 temps, rapportées dans le secteur des procédés industriels. Mais diminution dans d'autres secteurs comme : aciéries, UIOM, biomasse bois.
MERCURE (Hg)	Principalement émis lors de la combustion des minéraux solides, pétrole, biomasse, production de chlore, production d'acier, fabrication de batteries, incinération des déchets, crémation.	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 (H330) (ne se rencontrent pas dans l'air ambiant).	Forte baisse : limitation dans divers produits et progrès dans les traitements des déchets (incinération des déchets non dangereux, avec et sans récupération d'énergie => dépoussiéreurs). Optimisation de production de chlore, mise en place de filtres cimentiers, amélioration de certains combustibles.

	Origines (seules sources anthropiques précisées)	Effets	Evolution
NICKEL (Ni)	Largement utilisé dans la production d'acier. Emis par la combustion du fioul lourd, autres produits pétroliers, raffinage pétrole, abrasion des routes, process sidérurgiques (aciéries électriques)	Classé cancérigène possible pour l'homme (cat. 2B). Composés inorganiques peuvent être extrêmement toxiques.	Forte baisse. Réduction de l'utilisation de fioul lourd, baisse de l'activité de raffinage en France (fermeture des raffineries), substitution de ce combustible par du gaz en raffinerie moins émetteur de Ni. Consommation moindre de certains secteurs (houillère, sidérurgie, etc.) et mise en place de dépoussiéreurs plus efficaces et plus nombreux (secteur sidérurgique).
PLOMB (Pb)	Carburants, fioul lourd, combustibles fossiles solides, biomasse, première et seconde fusion du plomb, fabrication de batteries électriques, production de certains verres (cristal), l'incinération des déchets, abrasion routes, usure freins.	Classé cancérigène possible pour l'homme (2B). Composés généralement classés reprotoxiques (H360FD), nocifs par inhalation et dangereux pour l'environnement. UE règlement 2021/1317 Neurotoxicité (enfants), problèmes cardiovasculaires et néphrotoxicité (adulte).	Baisse drastique. Arrêt définitif de la distribution de carburants automobiles plombés à partir de 2000. Aussi, progrès dans les procédés industriels (réduction des particules et arrêt de la production de plomb de première fusion depuis 2003).
Sélénium (Se)	En grande majorité par la production de verre. Aussi, 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.	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.
ZINC (Zn)	Secteur des transports (usure des plaquettes de frein et pneumatiques, abrasion des routes), combustion de carburants, de fioul lourd, de combustibles minéraux solides et de biomasse, métallurgie des métaux ferreux (aciéries électriques) et non ferreux et incinération de déchets.	Peut être toxique à forte dose (en fonction de sa nature chimique).	Forte baisse (comme pour Cr). Réduction des rejets industriels (sidérurgie => dépoussiéreurs plus efficaces et plus nombreux, et baisse de cette activité) + arrêt depuis 2002 de l'activité de production de zinc de deuxième fusion.

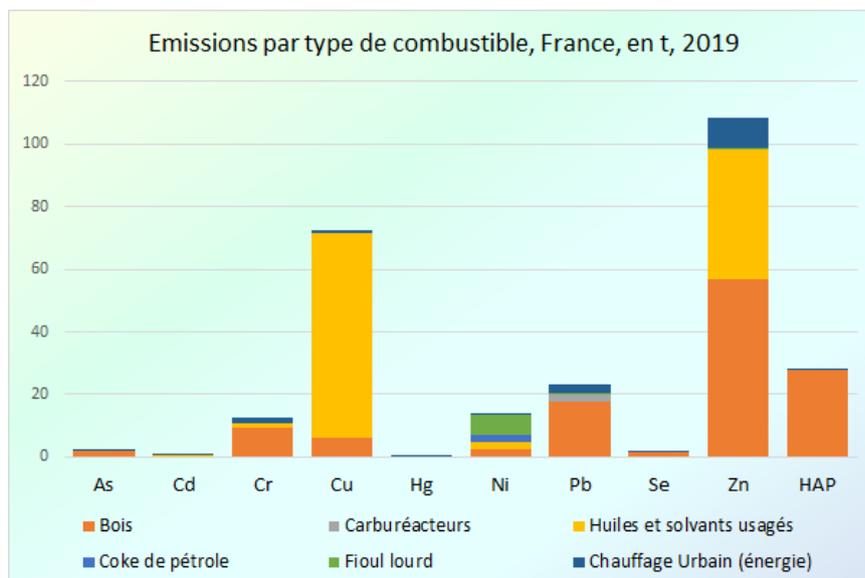
POLLUANTS ET COMBUSTIBLES, INFORMATION, SOURCE : CITEPA 2021

2019

Emissions par type de combustible, France	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn	HAP	PCDD/F	PCB	NOx
	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	g ITEQ	kg	kt
CMS sauf lignite	0,1		0,2	0,2	0,3	0,2	0,1		0,5		0,4	2,3	4,2
Bois	1,9	0,3	9,2	6,1	0,2	2,2	17,7	1,4	56,9	27,9	31,4	11,7	34,6
Déchets industriels solides			0,1	0,2	0,1	0,2	0,1		1,3		56,1	0,5	1,2
Déchets municipaux organiques		0,1	0,2	0,6	0,2	0,2	0,5	0,01	4,4	0,1	0,5		4,9
Déchets municipaux fossiles		0,1	0,1	0,4	0,2	0,1	0,4	0,01	2,9	0,1	0,4		3,3
Carburéacteurs							2,3					0,1	15,1
Huiles et solvants usagés		0,4	1,6	65,4		2,7	0,1		41,3	0,01			0,9
Gaz de raffinerie	0,03	0,2	0,5	0,2	0,03	0,5	0,1	0,1	1,3				4,6
Coke de pétrole					0,01	2,3			0,1		0,01	0,4	0,6
Fioul lourd			0,1	0,1		6,1	0,2		0,4			0,2	4,4
Fioul domestique			0,1		0,01				0,1	0,1	0,2	2,1	37,0
Gazole et GNR			0,3	0,2	0,2		0,01		0,6	2,2	10,7	0,2	414,4
Essence / super				0,1	0,1	0,02			0,3	0,2	1,3		18,3
Gaz naturel et GNV	0,02			0,01			0,02			0,01	0,7		62,6
Agrocarburant diesel				0,02	0,01				0,1	0,2	0,9	0,02	35,5
Autres produits de la biomasse							0,1		0,2	0,2	0,3	0,1	0,3
Chauffage Urbain (énergie)	0,3	0,05	1,6	1,0	0,1	0,6	3,0	0,2	9,6	0,1	1,4	1,3	7,5

Emissions dans l'air en France par type de combustibles (non exhaustif), en t ou g ITEQ ou kg, 2019, d'après CITEPA format SECTEN Avril 2021, les HAP selon CEE-NU : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et indéno(1,2,3)pyrène.

Sauf pour le combustible bois et le chauffage urbain, seules les valeurs les plus fortes par combustible et/ou émissions sont précisées afin de ne pas surcharger. Non exhaustif. En rouge, les valeurs les plus élevées pour les émissions.



Emissions dans l'air des ETM et HAP (en t) pour les sous-secteurs les plus « forts », France, 2019. D'après Source DONNEES CITEPA format SECTEN 2021 - Graphique Air Lichens

Il sera ainsi remarqué que le combustible BOIS représente la masse la plus forte des émissions suivantes : As, Cr, Pb, Se, Zn, HAP, PCB. Pour le Hg, il s'agit du CMS sauf lignite ; pour le Cd, huiles et solvants usagés ; pour le Ni, le fioul lourd ; pour le Cu, huiles et solvants usagés ; pour les PCDD/F, déchets industriels solides et pour les NOx, gazole et GNR. Annuellement, le polluant le plus concerné par le combustible BOIS est en priorité le Zn. En 2019, les HAP apparaissent ensuite suivis du Pb. Pour le chauffage urbain, le Zn est à nouveau le plus relevé, suivi du Pb.

TRAITEMENT CENTRALISÉ DES DÉCHETS, INFORMATION, SOURCE : CITEPA 2021

2019

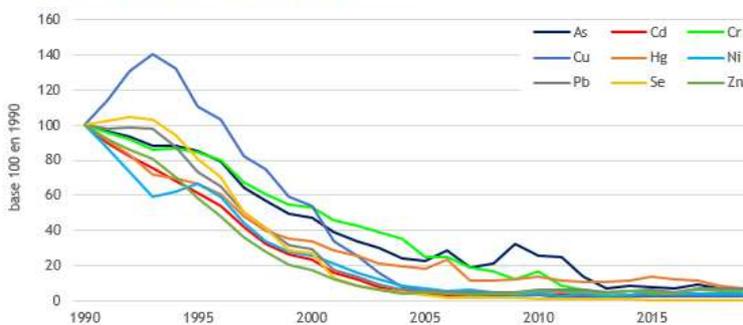
Emissions par secteur, France métropolitaine, traitement centralisé des déchets	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn	HAP	PCDD/F	PCB	NOx
	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	g ITEQ	kg	kt
Stockage des déchets	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
Incinération sans récup. énergie	0	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	3,1	0	3,1	0	0,5	0,4	1,5
Autres traitements déchets solides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Traitement des eaux usées	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Déchets (centralisés)	0	0,2	0,1	0,2	0,4	0,1	3,1	0	3,1	0	0,5	0,4	1,6
Autres secteurs	5	2,5	30,2	269,8	2,6	25	81,7	9,1	381,2	34,5	123,6	33	772,2
Total national	5,1	2,6	30	270	3	25	85	9,1	384	34,5	124	33,4	774
% du total national	0,5	6,1	0,2	0,1	13,4	0,6	3,6	0	0,8	0,1	0,4	1,3	0,2

Emissions dans l'air en France, en t ou g ITEQ ou kg, 2019, d'après CITEPA format SECTEN 2021, les HAP selon CEE-NU : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et indéno(1,2,3)pyrène.

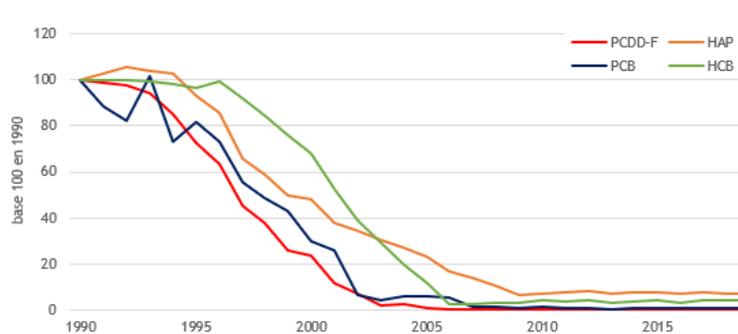
Les décimales > 2 chiffres sont précisées <0.

Evolution : de fortes diminutions sont constatées depuis 1990. Par rapport au % national, Hg (13% : casse de lampes fluorescentes usagées enfouies en installations de stockage, crémation des corps³, incinération des déchets dangereux), Cd (6% - incinération principalement) et Pb (incinération et crémation, traitement autres déchets) sont les plus remarquables. En 2019, la part du Pb est également liée à l'incendie de Notre-Dame.

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



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



PCDD/F :

Dans les 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 en PCDD-F définies dans les arrêtés du 25 janvier 1991 et du 20 septembre 2002 (directive européenne 2000/76/CE) relatifs aux déchets non dangereux (ordures ménagères, boues de traitement des eaux, etc.). Elles ont permis, notamment, une réduction significative des émissions.

Depuis le début des années 2000, on considère que la principale source de rejets de PCDD/F est le brûlage illégal de câbles électriques permettant d'en revendre le cuivre. On estime que 99% des rejets nationaux de PCDD/F associés au secteur des déchets proviennent du brûlage de câbles.

³Rapport mars 2021 de l'Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France métropolitaine, format CEE-NU, CITEPA :

« 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'arrêt 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, a engendré une baisse des rejets depuis 2014 ».

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.

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 seuils d'intervention ou teneurs maximales dans le lait sont déterminées par le Règlement CE 1881/2006 et modifications ainsi que diverses Recommandations (2013/711/UE, 2014/663/UE).

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).
- Règlement (UE) N° 1259/2011 de la Commission du 2 décembre 2011 modifiant le règlement (CE) N° 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales en dioxines, en PCB de type dioxine et en PCB autres que ceux de type dioxine des denrées alimentaires (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE).
- 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.
- 2013/711/UE : 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), modifié par recommandation de la commission du 11 septembre 2014 (2014/663/UE).
- 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.
- 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.

FICHE PCDD/F, MISE A JOUR CITEPA 2021

PCDD/F	POP ; composés aromatiques polycycliques halogénés. polychlorobenzodioxines (PCDD) ET polychlorodibenzofuranes (PCDF).	
Congénères	Les PCDD comportent 75 congénères ⁽¹⁾ et les PCDF 135 congénères	
Expression	en « Equivalents Toxiques Internationaux » ou I-TEQ ⁽²⁾ pour International Toxic Equivalents.	
Emissions	<p><u>Sources naturelles</u> : feux de forêt ; éruptions volcaniques.</p> <p><u>Sources anthropiques</u> : 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 procédés industriels (production de papier, etc.).</p>	
Persistance et demi-vie	Très stables chimiquement, peu biodégradables, les dioxines persistent dans l'environnement et les êtres vivants dans lesquels elles s'accumulent. La demi-vie de ces polluants est d'environ sept ans dans l'organisme humain.	
Effets		<p>Certaines études épidémiologiques (chez l'homme) rapportent une augmentation du nombre de cancers chez les personnes exposées à la dioxine la plus toxique : la 2,3,7,8 TCDD (appelée aussi « dioxine Seveso »).</p> <p>Le CIRC a classé les PCDD/F dans les « cancérogènes pour l'être humain ».</p> <p>Une exposition brève de l'être humain à de fortes concentrations peut entraîner des lésions dermiques, la formation de taches sombres sur la peau et une altération de la fonction hépatique.</p> <p>L'exposition de longue durée s'associe à une dégradation du système immunitaire, du développement du système nerveux, du système endocrinien et des fonctions génésiques.</p> <p>Le 20 novembre 2018, un communiqué de l'EFSA précise entre autres que les dioxines et PCB-DL diminuent la qualité du sperme, stimulent la thyroïde des nouveau-nés, perturbent le développement de l'émail dentaire... (https://www.efsa.europa.eu/fr/press/news/181120)</p>

⁽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** : le système d' " 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 se voit attribuer 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 de référence de 1 a été donné. Pour calculer l'équivalent toxique global d'un mélange de dioxines par rapport au TCDD, les quantités de chaque composé toxique sont multipliées par leur Facteur d'Equivalence Toxique respectif, et ensuite additionnées.

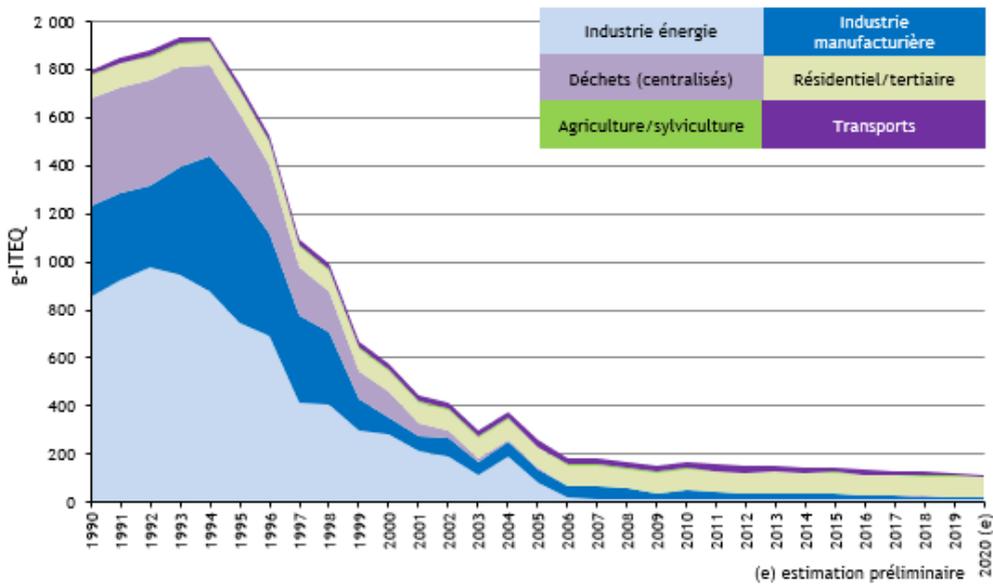
Secteurs d'émissions en France

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.**

Résidentiel /tertiaire	Principale source des émissions de PCDD-F depuis 2006 mais une très forte part des émissions (40 g ITEQ) est induite par le brûlage des câbles pour récupérer le cuivre. Or, il s'agit d'une activité illicite, donc difficile à quantifier (et donc associée à une forte incertitude) et pour laquelle l'activité est considérée constante. Part importante liée au brûlage de câbles.
Déchets (transformation d'énergie)	La très forte baisse observée entre 1990 et 2018 est le résultat des émissions des incinérateurs de déchets dangereux et non dangereux sans récupération d'énergie (mise en conformité progressive) mais également de la part croissante de l'incinération de déchets non dangereux avec récupération d'énergie. Concernant les déchets dangereux, l'arrêt du 20 septembre 2002 qui leur est dédié a permis une réduction de 87% des émissions liées à l'incinération des déchets industriels dangereux entre 1990 et 2018

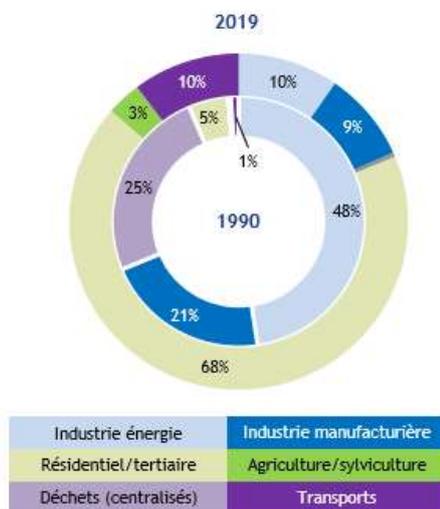
Industrie manufacturière	<p>Baisse observée liée à la baisse d'activité du secteur de la métallurgie des métaux ferreux et de la mise en place de techniques d'abattement.</p> <p>En 2012, le niveau d'émission est le plus bas observé depuis 1990, suite en partie à la fermeture fin 2011 du site sidérurgique de Florange.</p> <p>La baisse importante observée entre 2015 et 2016 est liée à une forte réduction des émissions dans plusieurs sites d'agglomération de minerais.</p>
Part des émissions liées aux combustibles	<p>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. A partir de 1997, cette situation évolue et la part cumulée décroît fluctuant entre 61% et 69%.</p> <p><u>La part des émissions liées à l'utilisation du gazole et du GNR</u> a largement évolué sur la période 1990-2018. Entre 1990 et 2012, on enregistre une augmentation de 1% à 19% des rejets totaux de PCDD-F. On observe cependant une diminution régulière de celle-ci depuis 2013, ne représentant aujourd'hui que 13% des rejets nationaux.</p>

Evolution des émissions dans l'air de PCDD-F depuis 1990 en France (Métropole)



Graphes : source CITEPA format Secten 2021

Répartition des émissions de PCDD-F en France (Métropole)



Le paragraphe suivant provient de : *Rapport mars 2021 de l'Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France métropolitaine, format CEE-NU, CITEPA*

« 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 2021

PCB	POP polluant atmosphérique organique persistant ; polychlorobiphényles	
Composés	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.	
Origine	<p><u>Synthétique</u> (aucune source naturelle)</p> <p><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).</p>	
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, ils font partie des contaminants bioaccumulables fréquemment trouvés dans les tissus gras chez l'humain (dont le lait maternel) et tout au long de la chaîne alimentaire.	
Effets	 <p>Effets Santé, perturbateurs endocriniens, cancérigènes</p>	<p>Toxiques, écotoxiques et reprotoxiques (y compris à faible dose en tant que perturbateurs endocriniens). Classés comme « cancérogènes probables » (groupe 2A du CIRC) pour les cancers hépatobiliaires (cancer du foie, cancer des voies biliaires, cancer du pancréas), et le PCB 126 a été classé cancérogène certain.</p> <p>Comme pour les PCDD/F, contamination de l'air, des sols, de l'eau, des sédiments et de la chaîne alimentaire.</p>

Secteurs d'émissions en France

De nos jours, en France, les émissions atmosphériques de PCB sont principalement dues soit à la formation accidentelle de PCB dans les divers procédés de combustion, soit à l'élimination de produits ou matériaux contenant des PCB. Trois secteurs contribuent principalement aux émissions de PCB avec une baisse drastique du traitement centralisé des déchets depuis 1990.

Industrie manufacturière	<p>Emissions proviennent essentiellement de la <u>métallurgie des métaux ferreux</u> depuis 1997. Auparavant, il s'agissait du secteur de la chimie qui a graduellement baissé. Baisse de près de 70% des émissions du secteur (décroissance des émissions du secteur de la chimie de près de 96%), dans lequel sont rapportées les émissions de l'incinération in-situ des déchets industriels dangereux.</p> <p>Concernant la métallurgie, la baisse des émissions est plus modérée. Les émissions de ce sous-secteur sont en diminution constante depuis 2010.</p>
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	<p><u>Principale source d'émission</u> : production d'électricité.</p> <p>Depuis 1990, les émissions de ce secteur ont baissé de plus d'un facteur 4 suite, en particulier, à la mise en place de traitements des effluents atmosphériques sur les installations d'incinération avec 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), qui impactent également les émissions de PCB.</p>
Traitement centralisé des déchets	<u>Baisse importante des émissions</u> depuis 1990 (plus de 99%) imputable, d'une part, aux installations de traitement des déchets industriels dangereux et non dangereux (mise en conformité avec l'arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux déchets dangereux) et, d'autre

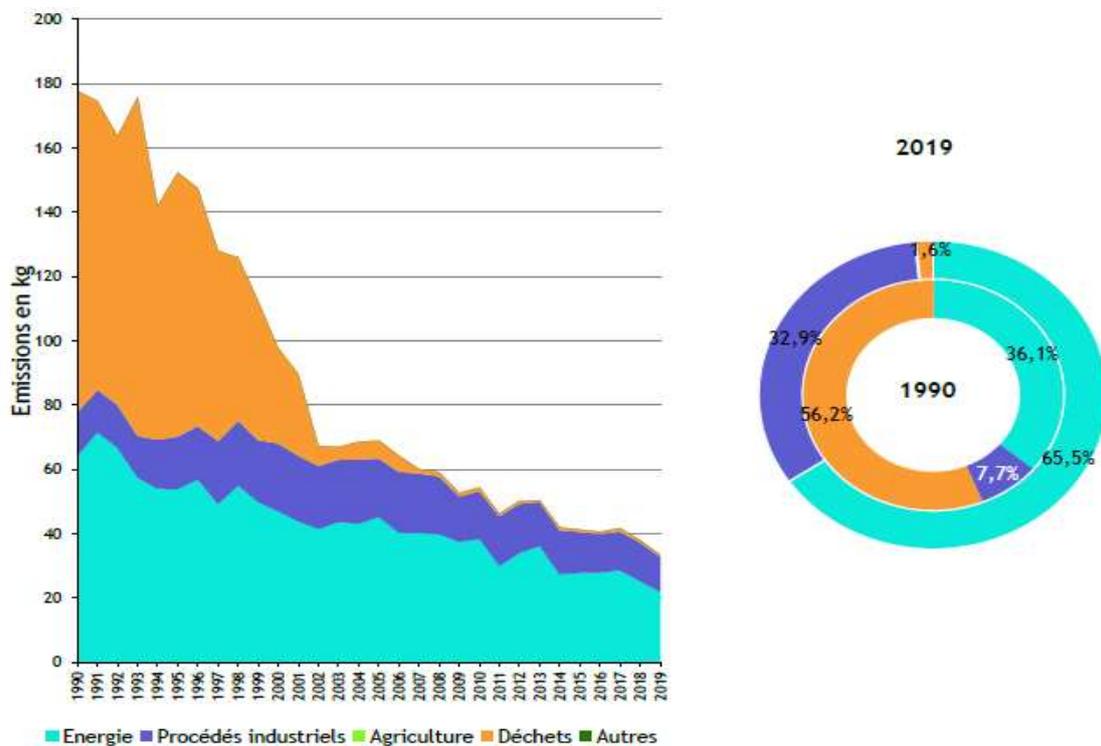
Part des émissions liées aux combustibles

part, à l'incinération de déchets hospitaliers, à la suite de la baisse des quantités incinérées (mise en conformité de ces installations avec l'arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux déchets non dangereux).

En 1990, la combustion des déchets représentait 54% des émissions nationales de PCB. Cette part a augmenté jusqu'en 1994 atteignant les 60% puis a rapidement décliné pour atteindre les 2% à partir de 2007. Aujourd'hui la combustion des déchets est responsable de seulement 1% des rejets de PCB en France.

Les combustibles fossiles solides occupent depuis 1990 une place relativement importante dans les émissions de PCB malgré leur baisse constante. Aujourd'hui, les combustibles fossiles sont responsables de 15% des émissions de PCB.

Combustion du bois : la part de ces dernières dans les émissions totales est passée de 6% en 1990 à 29% aujourd'hui.



Evolution et répartition des émissions de PCB en France métropolitaine

Graphes et paragraphe ci-dessous : Rapport mars 2021 de l'Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France métropolitaine, format CEE-NU, CITEPA

« La baisse des émissions de PCB entre 1990 et 2019 d'environ 80% résulte principalement du secteur du traitement des déchets, et plus précisément du sous-secteur de l'incinération des déchets dangereux. Comme pour les PCDD/F, cette baisse s'explique par la mise aux normes des incinérateurs en termes de traitement des fumées dans les années 2000 (arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux déchets dangereux).

La baisse constatée dans le secteur de l'énergie s'explique globalement par une baisse de consommation de charbon et par l'amélioration des performances des équipements individuels brûlant du bois dans le secteur résidentiel. On observe en revanche une légère augmentation des émissions en 2017, conséquence de la reprise de la consommation de charbon d'une centrale ».

RAPPORTS 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