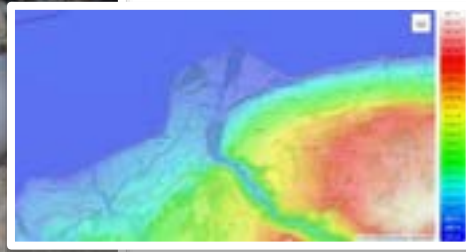


RAPPORT D'ÉTUDE

Bioaccumulation lichénique Caractérisation des retombées atmosphériques autour du SERTE & STOC

Thonon-les-Bains (74)



N° de Dossier : 21_STOC_3_Thonon

A l'attention de :

Cécile LEDIURON

Responsable du service Traitement et Valorisation des déchets
SERTE et STOC

32 avenue des Genévriers – ZI de Vongy

74 200 Thonon-les-Bains

Email : c-lediuron-serte@ville-thonon.fr

Auteur : Grégory AGNELLO

Relecteur : Sylvain ALLARD

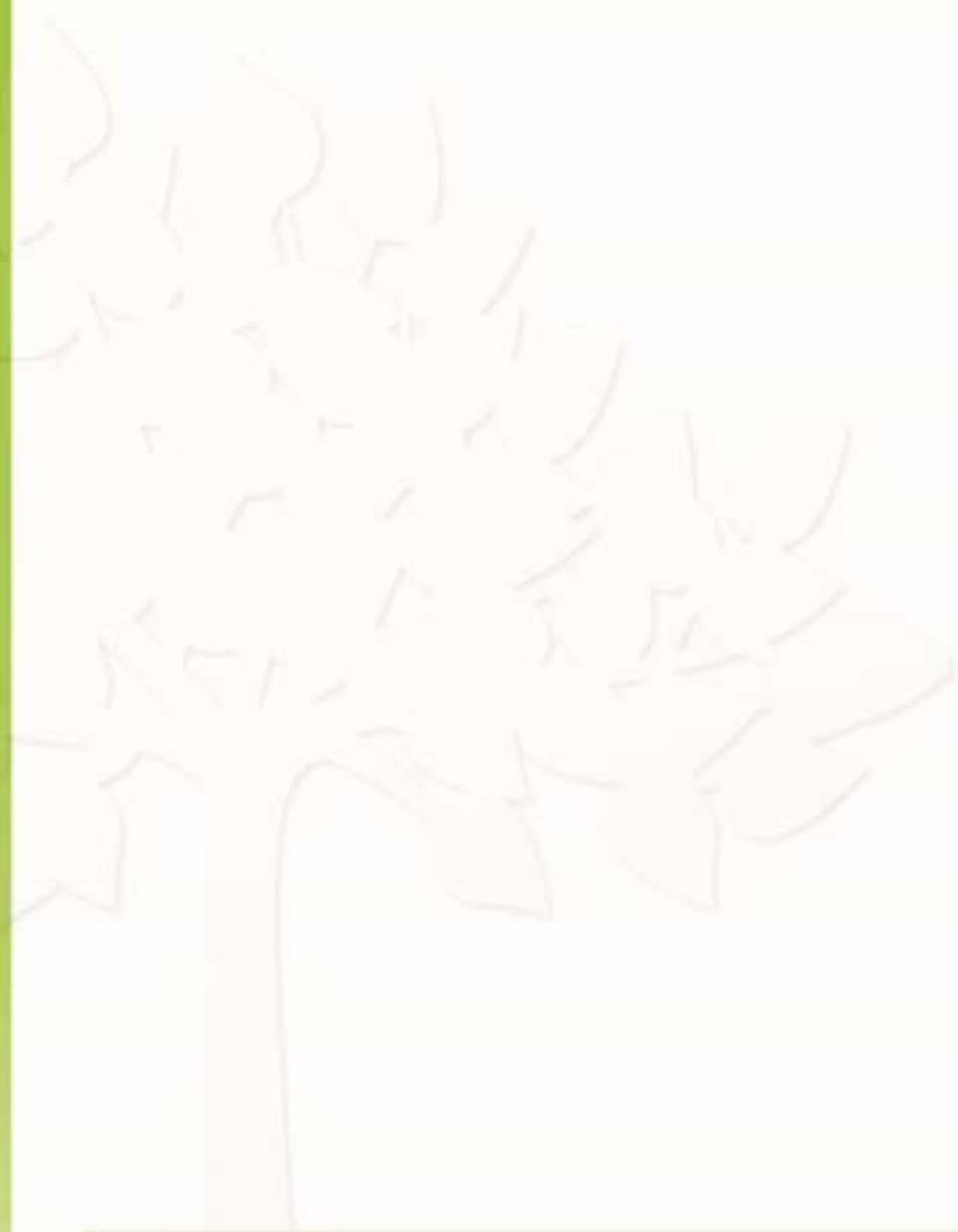


Table des matières

1.	Contexte de l'étude	1
2.	Campagne 2021	2
2.1	Zone d'étude	2
2.2	Relief.....	3
2.3	Caractérisation de l'influence du vent	5
2.4	Sites de prélèvements	7
2.4.1	L1 – Jardins familiaux.....	8
2.4.2	L2 – Zone industrielle de Vongy	8
2.4.3	L3 – Camping du Léman	9
2.4.4	L4 – Les Epinanches.....	9
2.4.5	L5 – Jardin Lacroix	10
2.4.6	L6 – Jardin Delalle.....	10
2.4.7	L8 – SERTE & STOC.....	11
3.	Résultats et interprétation	12
3.1	Métaux lourds	12
3.1.1	Résultats des dosages.....	12
3.1.2	Comparaison aux valeurs de naturalité.....	14
3.1.3	Comparaisons temporelles.....	15
3.1.4	Analyse globalisée	19
3.2	Dioxines-furanes.....	21
3.2.1	Résultats des dosages.....	21
3.2.2	Comparaison aux valeurs de naturalité.....	22
3.2.3	Comparaisons temporelles.....	23
3.2.4	Analyse globalisée	24
3.3	PCB de type dioxines	24
3.3.1	Résultats des dosages.....	24
3.3.2	Comparaisons aux valeurs de naturalité	27
3.3.3	Comparaisons temporelles.....	27
4.	Conclusions et perspectives	29
5.	Les textes réglementaires	31
5.1	Les textes nationaux.....	31
5.2	Le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET) en AURA	31
6.	Méthodologie	32
6.1	Principe de la bioaccumulation lichénique	32
6.2	Éléments analysés	33

6.2.1	Les métaux lourds.....	33
6.2.2	Les dioxines-furanes.....	34
6.2.3	Les PCB-DL.....	34
6.2.4	Synthèse des LQ.....	35
6.2.5	Références pour la naturalité.....	36
7.	Atlas cartographique.....	37

Sommaire des figures

Figure 1	: Localisation du secteur d'étude.....	2
Figure 2	: Relief de la zone d'étude (vue 1).....	3
Figure 3	: Relief de la zone d'étude (vue 2).....	4
Figure 4	: Rose des vents trimestrielles.....	5
Figure 5	: Rose des vents, échéances pluvieuses.....	6
Figure 6	: Concentrations des métaux dosés dans les lichens.....	13
Figure 7	: Participation métallique.....	14
Figure 8	: Tendances évolutives 2014-2021 par site.....	15
Figure 9	: Evolutions temporelles (2014-2021) décomposées par métal.....	18
Figure 10	: Boîtes à moustaches ETM.....	20
Figure 11	: Résultats des dosages de dioxines-furanes.....	21
Figure 12	: Histogrammes des congénères des dioxines-furanes.....	22
Figure 13	: Comparaisons temporelles (2014-2021) des concentrations massiques et I-TEQ des dioxines-furanes.....	23
Figure 14	: Boîte à moustaches D-F.....	24
Figure 15	: Résultats des dosages de PCB-DL.....	25
Figure 16	: Cumul massique des concentrations de PCB-DL.....	26
Figure 17	: Répartition des congénères de PCB-DL.....	26
Figure 18	: Comparaisons temporelles (2014-2021) des concentrations massiques et I-TEQ des PCB-DL.....	28
Figure 19	: Cartographie de l'arsenic.....	37
Figure 20	: Cartographie du cadmium.....	38
Figure 21	: Cartographie du cobalt.....	39
Figure 22	: Cartographie du chrome.....	40
Figure 23	: Cartographie du cuivre.....	41
Figure 24	: Cartographie du mercure.....	42
Figure 25	: Cartographie du manganèse.....	43
Figure 26	: Cartographie du nickel.....	44
Figure 27	: Cartographie du plomb.....	45
Figure 28	: Cartographie de l'antimoine.....	46
Figure 29	: Cartographie du vanadium.....	47
Figure 30	: Cartographie du zinc.....	48
Figure 31	: Cartographie des dioxines-furanes.....	49
Figure 32	: Cartographie des PCB-DL.....	50
Figure 33	: Cartographie de la participation métallique.....	51

Sommaire des photos

Photo 1 : Vue du STOC depuis le SERTE.	1
Photo 2 : Prélèvements sur L1.....	8
Photo 3 : Prélèvements sur L2.....	8
Photo 4 : Prélèvements sur L3.....	9
Photo 5 : Prélèvements sur L4.....	9
Photo 6 : Prélèvements sur L5.....	10
Photo 7 : Prélèvements sur L6.....	10
Photo 8 : Prélèvements sur L8.....	11
Photo 9 : Illustration de transplants.....	30
Photo 10 : Prélèvements de terrain.	32

Sommaire des tableaux

Tableau 1 : Industries déclarées par le Registre des Emissions Polluantes.	2
Tableau 2 : Impact des vents dominants selon les sites..	6
Tableau 3 : Informations sur les sites de prélèvements.....	7
Tableau 4 : Caractéristiques des sites.	7
Tableau 5 : Résultats des dosages de métaux lourds.....	12
Tableau 6 : Correspondance code couleur / naturalité.	14
Tableau 7 : Naturalité de chaque site vis-à-vis des concentrations en métaux.....	14
Tableau 8 : Résultats des dosages de dioxines-furanes.....	21
Tableau 9 Naturalité de chaque site vis-à-vis des concentrations en dioxines-furanes.....	22
Tableau 10 : Résultat des dosages de PCB-DL.....	24
Tableau 11 : Naturalité de chaque site vis-à-vis des concentrations en PCB-DL.....	27
Tableau 12 : Synthèse des LQ.....	35
Tableau 13 : Correspondance code couleur/naturalité.....	36

1. Contexte de l'étude

L'usine d'incinération d'ordures ménagères du STOC (Syndicat de Traitement des Ordures du Chablais) et l'incinérateur de boues de la station d'épuration du SERTE (Syndicat d'Épuration des Régions de Thonon et d'Evian) sont soumis aux mêmes prescriptions en termes de surveillance annuelle de l'impact sur l'environnement et ils procèdent conjointement au suivi de leurs installations.



Photo 1 : Vue du STOC depuis le SERTE.

Depuis plusieurs années, les deux usines surveillent de concert leurs rejets avec notamment des recherches de polluants lors d'une campagne annuelle des retombées atmosphériques dans les jauges OWEN (collecteur de précipitation), dans les végétaux (différentes espèces) mais aussi dans les lichens.

La mission réalisée par le bureau d'étude EVINERUDE vient s'inscrire dans ce dernier cadre, afin de poursuivre et compléter les travaux antérieurs de bioaccumulation, autrement dit l'utilisation d'organismes vivants dans les détections de pollution. Le présent rapport traite de la campagne 2021.

Les mesures réalisées doivent permettre ensuite d'appréhender l'impact éventuel de l'activité des usines sur son proche environnement. Dans le cadre de cette étude, les objectifs sont multiples :

- Application d'un plan d'échantillonnage lichens.
- Campagne d'analyses dioxines/furanes, PCB de type dioxines et métaux lourds.
- Caractérisation de la qualité de l'air autour du site d'incinération.
- Etude des tendances évolutives.

2. Campagne 2021

2.1 Zone d'étude

Les usines se situent au bout de l'avenue des genévriers dans la zone industrielle de Vongy, sur la commune de Thonon-les-Bains. 5 sites de suivi sont localisés sur Thonon même, les 2 points témoins se trouvent quant à eux sur Marin et Publier (cf. carte suivante). Ces localisations sont identiques à la campagne 2020 (selon le SERTE). Les quantités de matériel biologique disponible ont permis des prélèvements suffisants – effectués vendredi 29 octobre – pour réaliser des analyses en laboratoire (l'échantillon peut être refusé par le laboratoire en cas de manque de matière).



Figure 1 : Localisation du secteur d'étude.

Les usines sont à proximité de trois sites naturels remarquables que sont la Réserve Naturelle du Delta de la Dranse (limitrophe à l'est), le Domaine de Ripaille (700 m à l'ouest) et bien entendu le lac Léman (700 m au nord). Plusieurs industries sont recensées à proximité par le registre des émissions polluantes.

Tableau 1 : Industries déclarées par le Registre des Emissions Polluantes.

Nom	Activité
METAL X	Traitement et revêtement des métaux
AD ORELEC	Traitement et revêtement des métaux
ORTEC ENVIRONNEMENT	Collecte et traitement des eaux usées
EUROCAST THONON	Fonderie de métaux légers
THALES AVS FRANCE SAS	Fabrication de composants électroniques
PAPETERIES DU LEMAN S.A.	Fabrication de papier et de carton
SAEME DANONE EAUX FRANCE	Industrie des eaux de table

2.2 Relief

D'après les cartes suivantes (sources : topographic-map.com et Google Earth), les reliefs sont surtout situés au sud des points de prélèvement. Seuls les deux témoins se trouvent un peu en hauteur par rapport aux usines et aux autres points (cf. Tableau 4).

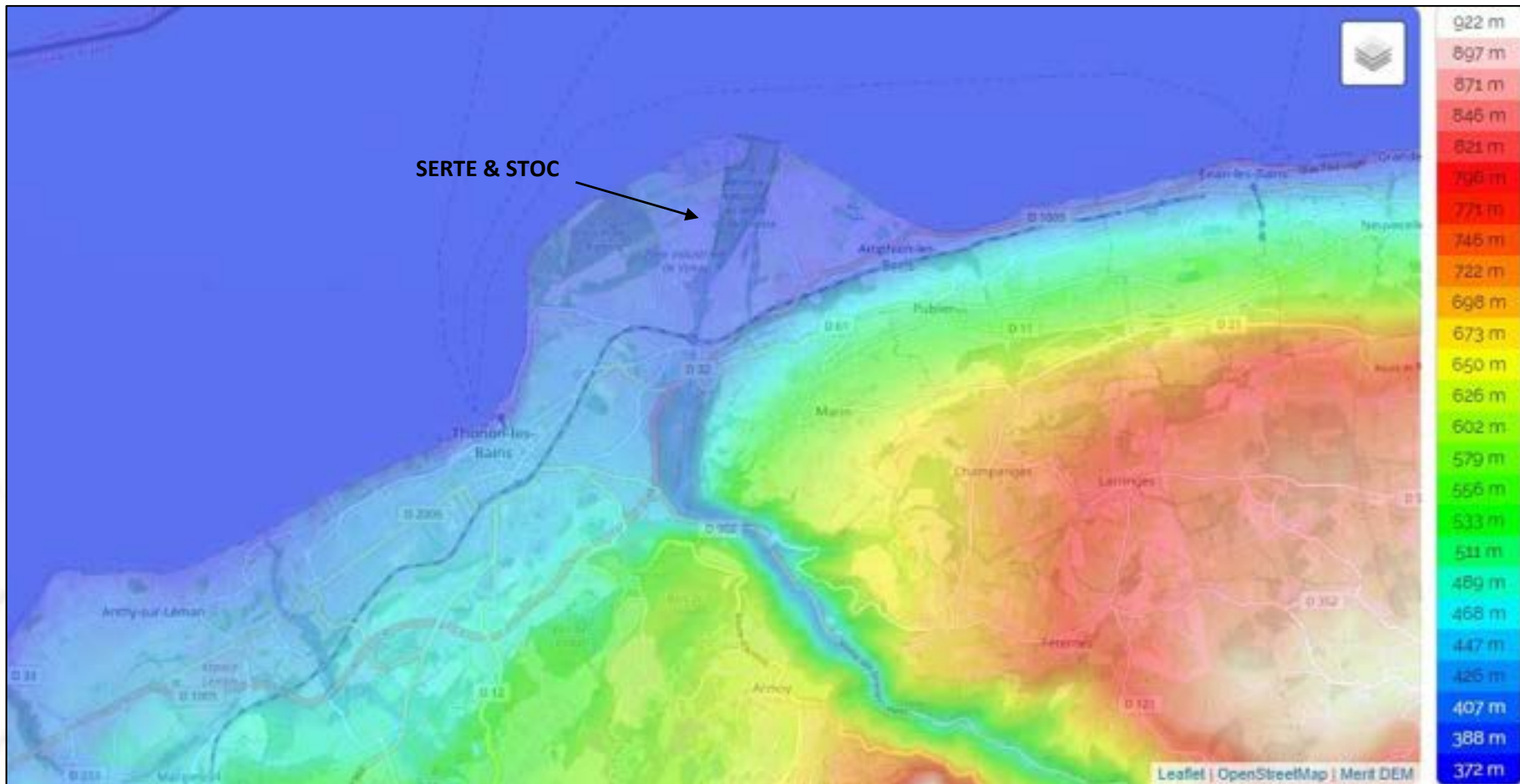


Figure 2 : Relief de la zone d'étude (vue 1).



Figure 3 : Relief de la zone d'étude (vue 2).

2.3 Caractérisation de l'influence du vent

Météo France fut contactée (station météo n° 74119003 située à Evian, à 5,7 km à l'est/sud-est des usines) pour obtenir la force et la provenance des vents durant les 3 mois qui ont précédé les prélèvements (du mercredi 28 juillet au jeudi 28 octobre inclus). Cette période fut choisie car il est démontré qu'un lichen nouvellement exposé présente un équilibre à partir d'un trimestre entre ses teneurs internes en polluants et les concentrations atmosphériques. Ainsi, même s'il s'agissait en l'occurrence de lichens autochtones et donc présents depuis une période bien plus importante, cette période de 3 mois reste caractéristique d'un équilibre entre la déposition atmosphérique (accumulation) et le lessivage dû aux pluies (qui empêche une accumulation *ad libitum*).

Pour information, un jour est considéré comme pluvieux lorsqu'au moins 1 mm d'eau sont tombés (seuil Météo France). Vingt-deux jours sont concernés, du 31 juillet au 20 octobre inclus pour un total de 238,4 mm.

Les Figure 4 et Figure 5 représentent ces deux informations. Les roses des vents ont été établies à l'aide du logiciel Hydrognomon© qui prend en compte à la fois la provenance des vents ainsi que leur vitesse pour établir des classes directionnelles.

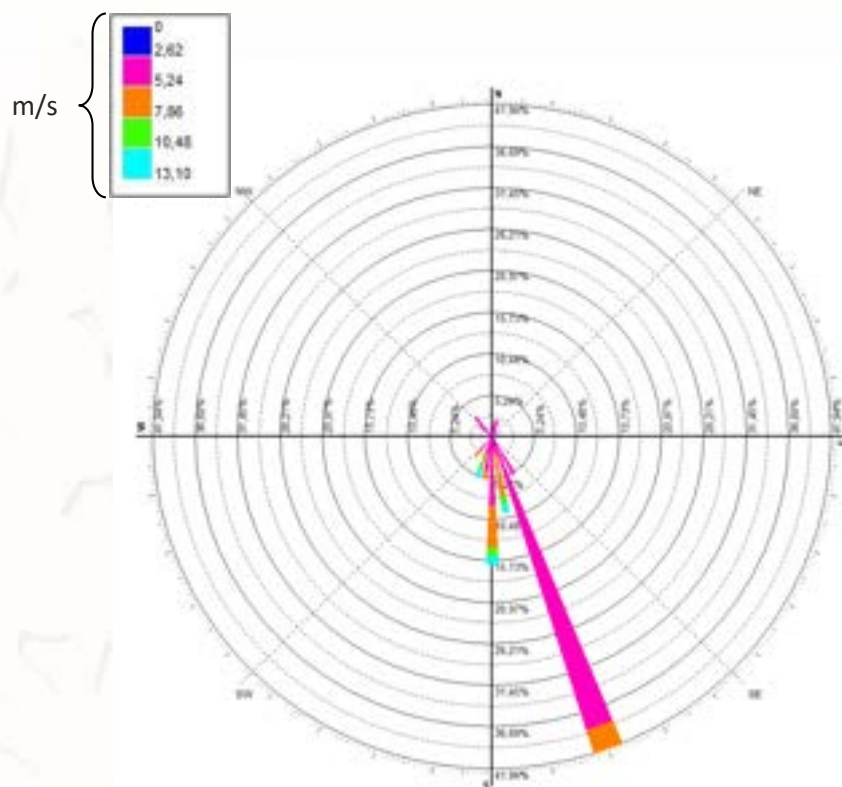


Figure 4 : Rose des vents trimestrielles.

Durant ce trimestre, les vents étaient très majoritairement en provenance du sud/sud-est, c'est donc le cadran opposé qui est le plus sous influence des usines, à savoir nord/nord-ouest.

Les jours de pluie (Figure 5), l'origine sud des vents est encore plus marquée – la moyenne qui prend en compte à la fois les directions et les intensités donne un azimut de 180°.

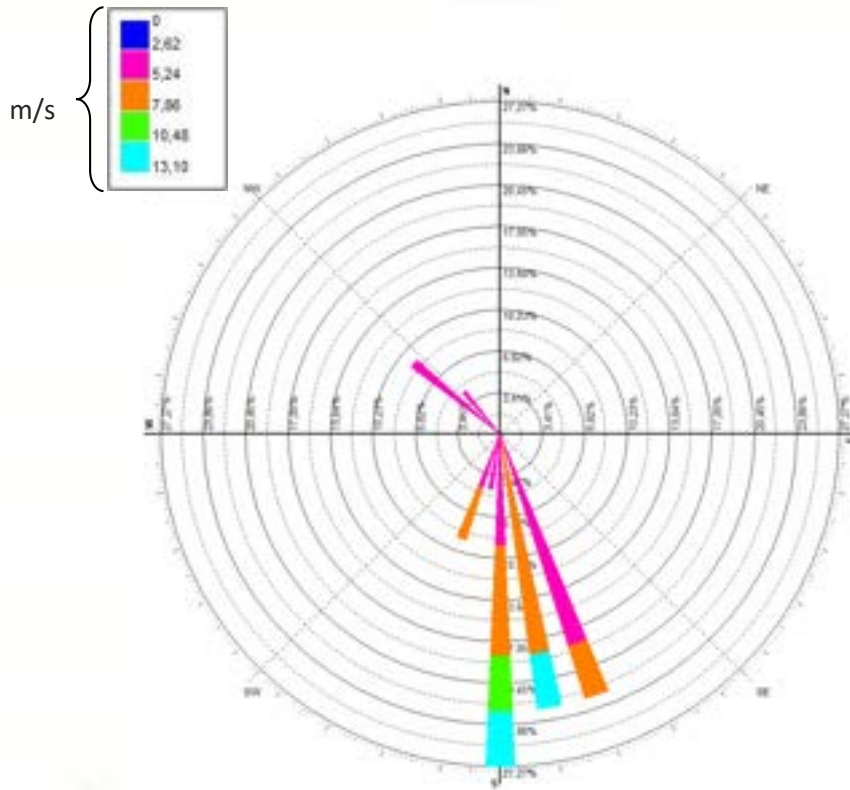


Figure 5 : Rose des vents, échéances pluvieuses.

Le tableau ci-dessous renseigne le pourcentage d'exposition des points de prélèvements face aux vents dominants d'après la rose globale.

Tableau 2 : Impact des vents dominants selon les sites..

Site	Impact total	Impact pluie
L1	1,1%	0,0%
L2	3,2%	0,0%
L3	31,2%	54,5%
L4	5,4%	0,0%
L5	3,2%	4,5%
L6	0,0%	0,0%
L8	0,0%	0,0%

Le site L3 est très clairement celui le plus exposé aux émissions des usines, que ce soit durant le trimestre complet, ou lors des échéances pluvieuses. Le site L8 n'apparaît pas exposé ce qui peut paraître contre-intuitif au vu de sa localisation au sein même du SERTE (cf. Figure 1) – le calcul prend en compte uniquement la localisation par rapport aux sens des vents. Cela veut dire que durant un trimestre, L8 ne s'est pas trouvé au sein d'un axe soufflant. Le site L5, bien que témoin, est sous influence des usines. Ici, cette influence est à modérer du fait de la distance, la déposition principale des éléments émis se faisant généralement à moins de 1 km de distance.

2.4 Sites de prélèvements

Tableau 3 : Informations sur les sites de prélèvements.

Site	Date	Commune	Espèce	Pérennité	Localisation	Précision	Remarque
L1	29/10/2021	Thonon	Xp	++	Avenue Saint Disdille	Parking des jardins familiaux	
L2	29/10/2021	Thonon	Xp	-	Av. des genévriers x Route des Arcouasses	Arbres du premier axe	
L3	29/10/2021	Thonon	Xp	++	Camping du Léman	117 avenue de Saint Disdille	Arbres au centre du camping
L4	29/10/2021	Thonon	Xp	++	Avenue du Champ Bochard	Arbres d'alignement	
L5	29/10/2021	Marin	Xp	-	107 route du Gavot	Arbre d'ornement	Abattu juste auparavant
L6	29/10/2021	Publier	Ps	++	950 route du Pays de Gavot	Arbre d'ornement	
L8	29/10/2021	Thonon	Xp	++	32 avenue des Genévriers	Parking du SERTE	

Au total, 3 communes ont été visitées : Thonon, Marin et Publier. L'espèce *Xanthoria parietina* (Xp) était présente sur 6 sites où elle fut récoltée systématiquement. Sur L6 l'espèce *Parmelia sulcata* (Ps), plus abondante et facilement récoltable, a remplacé *Xanthoria*. Toutes les deux sont citées comme matrices potentielle de récolte par la norme AFNOR NF-X-43-904.

Le symbole "++" dans la colonne "Pérennité" informe que les lichens sont récoltés sur un nombre suffisant d'arbres et que la quantité totale de matériel biologique est suffisante pour plusieurs années d'étude. Le symbole "-" veut dire que le site ne présente plus assez de matériel pour permettre un nouveau suivi et que ce point doit être modifié.

Tableau 4 : Caractéristiques des sites.

Site	D (m)	Orientation	Altitude (m)
L1	455	ouest/sud-ouest	389
L2	439	sud-ouest	392
L3	347	nord/nord-ouest	381
L4	1008	sud/sud-ouest	395
L5	2662	sud-/sud-est	555
L6	3803	sud-est	560
L8	147		386

2.4.1 L1 – Jardins familiaux

Parking à l'entrée des jardins familiaux, plusieurs arbres sont facilement accessibles.



Photo 2 : Prélèvements sur L1.

2.4.2 L2 – Zone industrielle de Vongy

Les arbres de la rue des Arcouasses ne présentaient plus assez de matériel pour réaliser un prélèvement, il a fallu décaler le point plus à l'ouest, à l'angle de l'avenue des genévriers où, là encore les lichens sont très peu abondants. Une réflexion doit être menée pour la pérennité de ce point.



Photo 3 : Prélèvements sur L2.

2.4.3 L3 – Camping du Léman

Au sein du camping, quelques arbres d'ornement montrent suffisamment de matériel.



Photo 4 : Prélèvements sur L3.

2.4.4 L4 – Les Epinanches

Arbres d'alignement le long de la route.



Photo 5 : Prélèvements sur L4.

2.4.5 L5 – Jardin Lacroix

Arbre de jardin en train d'être coupé lors de notre passage. Le point devra être remplacé.



Photo 6 : Prélèvements sur L5.

2.4.6 L6 – Jardin Delalle

Arbres d'ornement suffisamment riches pour maintenir le site.



Photo 7 : Prélèvements sur L6.

2.4.7 L8 – SERTE & STOC

Arbres au sein du SERTE, abondamment riches en lichen.



Photo 8 : Prélèvements sur L8.

3. Résultats et interprétation

3.1 Métaux lourds

3.1.1 Résultats des dosages

Ci-dessous sont présentés les résultats d'analyses chimiques. L'unité est le $\mu\text{g/g}$ de matière sèche. Le chrome VI et le thallium ne sont pas représentés dans le tableau, chacune de leurs concentrations étant en dessous de la LQ.

Tableau 5 : Résultats des dosages de métaux lourds.

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
L1	0,45	0,04	0,43	2,62	10,40	0,06	82,90	1,91	3,11	0,27	1,37	32,20
L2	1,55	0,30	1,80	11,60	69,00	0,08	214,00	8,21	61,50	2,45	4,58	184,00
L3	0,34	0,04	0,21	1,78	4,55	0,05	22,00	0,96	1,41	< LQ	1,03	21,10
L4	0,43	0,09	0,38	2,83	24,30	0,06	57,10	1,85	14,50	0,54	1,34	43,40
L5	0,34	0,05	0,27	1,65	10,40	0,05	27,10	1,06	1,74	0,21	1,13	35,90
L6	0,24	0,08	0,24	0,93	19,70	0,05	20,90	0,86	2,97	0,14	1,08	41,30
L8	0,46	0,21	0,52	3,87	19,50	0,10	38,70	3,43	11,00	0,63	1,24	64,20
Moyenne	0,54	0,11	0,55	3,61	22,55	0,06	66,10	2,61	13,75	0,71	1,68	60,30
Ecart-type	0,45	0,10	0,56	3,65	21,59	0,02	68,92	2,62	21,66	0,88	1,28	56,10

Un code couleur permet de discerner plus rapidement les maximas (orange) et les minimas (bleu).

Les minimas sont en gras et en bleu. Ceux-ci sont répartis sur les sites L3 (7 métaux) et L6 (5 métaux). Pour l'antimoine, la valeur dosée la plus faible se trouve sur L6 mais sur L3 la concentration est inférieure à la LQ (0,125) ce qui laisse supposer que la concentration la plus basse se trouve en réalité sur ce point.

En reprenant l'historique des dosages (ainsi que cette campagne) et sans tenir compte des valeurs inférieures aux LQ respectives de chaque métal, le site L3 cumule 40 concentrations les plus basses – principalement pour As, Cr, Ni, Sb et Zn. Le site L6 en cumule 28, principalement pour Mn, Ni et Pb. Le site L1 en cumule 20 à son tour, notamment avec Cu. Les autres minimas se répartissent sur les autres sites, excepté L2 qui n'en a jamais présenté un seul.

Les maximas apparaissent en orange. Hormis le mercure qui se trouve sur L8, toutes les concentrations maximales sont présentes sur L2. Depuis 2014, ce site a cumulé 71 maximas et le mercure reste le métal où les maximas sont régulièrement rencontrés ailleurs (L3 notamment). Le site L4 en cumule 11, surtout avec As. L6 est le seul site n'ayant jamais présenté un maxima.

La variation des concentrations d'un site à l'autre est très importante, avec pour cette campagne avec un ratio $C_{\text{max}}/C_{\text{min}}$ allant de 43.6 pour le plomb à 2.22 pour le mercure. La moyenne de ces ratios est de 12.3, seuls le mercure et le vanadium ont un ratio inférieur à 5.

Le graphique page suivante représente les concentrations cumulées des métaux. Au-dessus de chaque histogramme se trouve le pourcentage d'exposition aux vents dominants calculés à l'aide de la rose

des vents générale. Afin de mieux représenter les métaux en faibles concentrations par rapport à ceux ayant de base une concentration plus élevée (typiquement le mercure face au zinc), l'échelle est en logarithme.

Plusieurs constatations ressortent de cette figure :

- en masse cumulée, le résultat est tel que suit $L3 < L5 < L6 < L1 < L8 < L4 < L2$;
- si L2 se démarque, les profils des autres sites ne montrent toutefois pas de similarités claires entre eux ;
- aucun lien ne peut être établi entre l'influence des vents dominants, la distance aux usines et la déposition métallique.

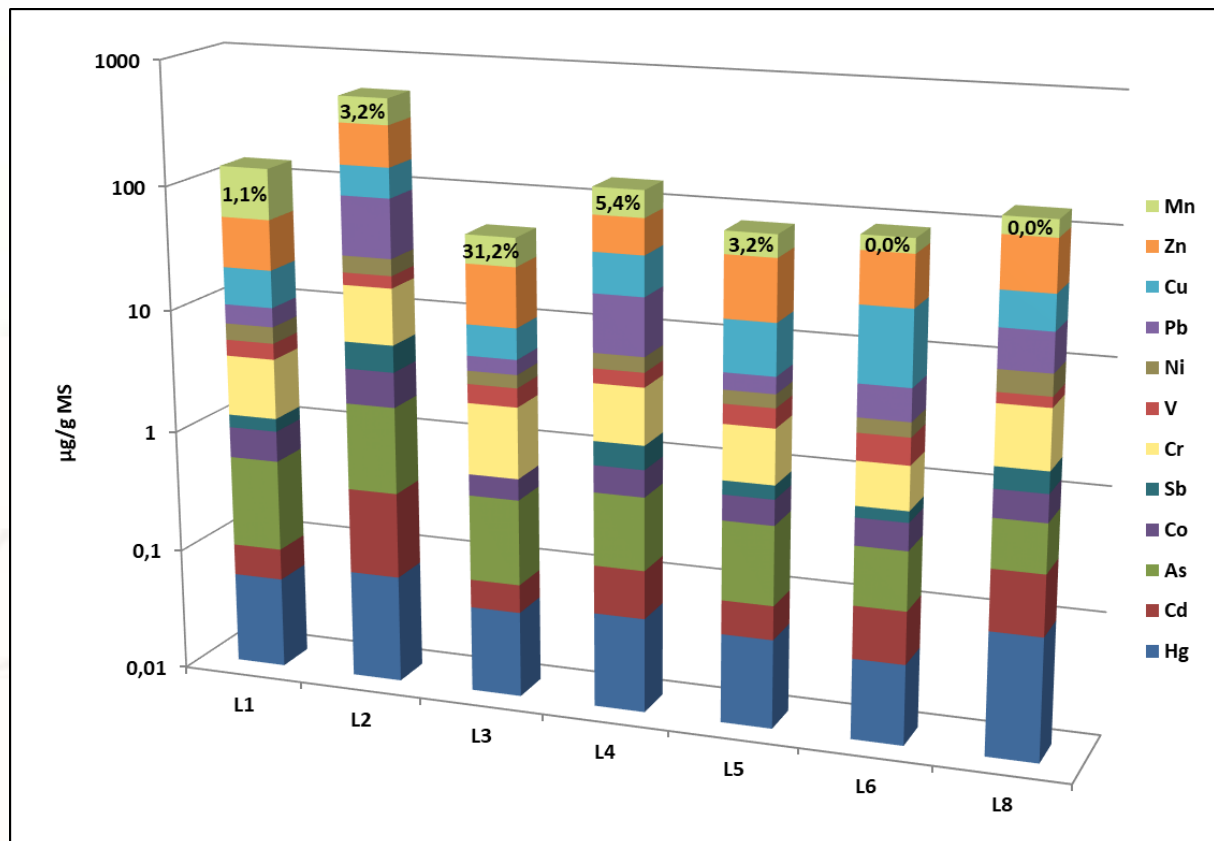


Figure 6 : Concentrations des métaux dosés dans les lichens.

Au vu de ces résultats, l'hypothèse du SERTE et du STOC en tant que source émissive prépondérante de métaux ne peut être validée. Chaque site apparaît plus comme étant influencé par une/des source(s) locale(s).

Afin de prendre en compte la part de chaque métal dans le cumul total, nous choisissons l'utilisation d'un indice arbitraire construit tel que suit : pour un métal donné, la concentration maximale est ramenée à 1, les autres étant proportionnelles et allant de 0 à 1. Pour chaque site, nous additionnons ensuite ces "participations" des métaux au calcul de l'indice, visible dans les Figure 7 et Figure 33.

Une fois de plus, il n'est pas possible d'effectuer un lien avec la distance aux usines et les vents dominants.

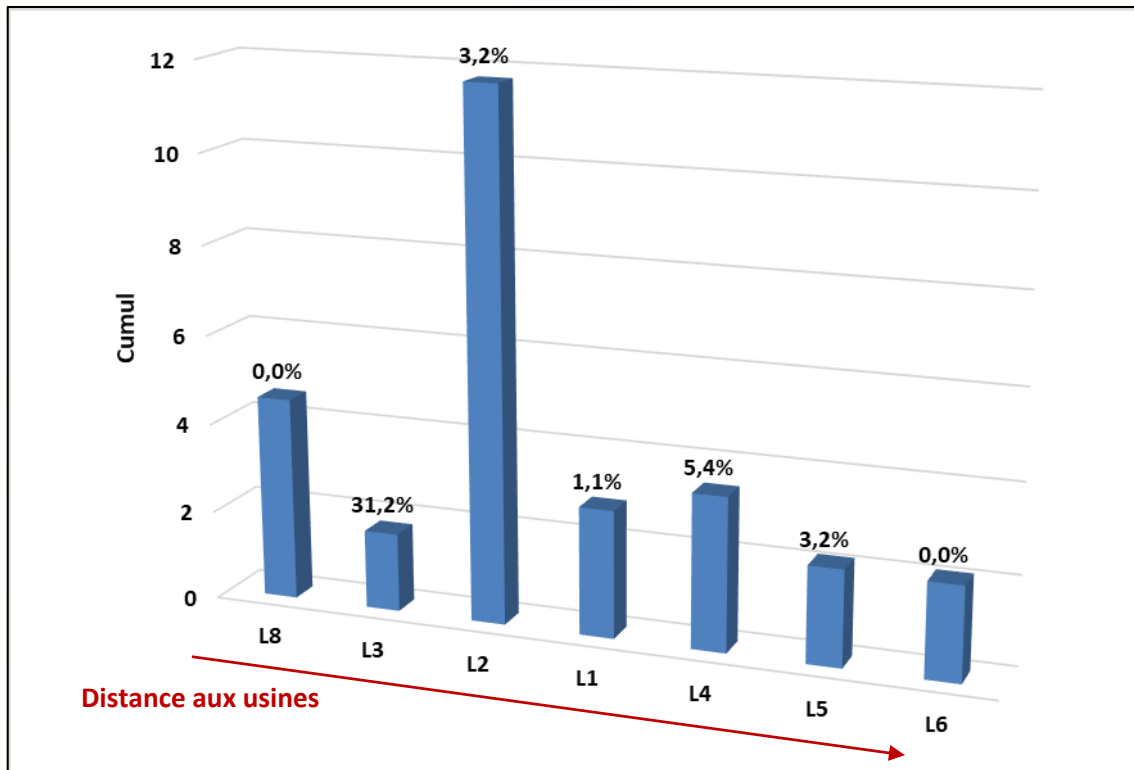


Figure 7 : Participation métallique.

3.1.2 Comparaison aux valeurs de naturalité

Le Tableau 6 rappelle la concentration de chaque élément pour les différents sites de prélèvements. Une corrélation (assortie d'un code couleur) vis-à-vis de l'impact sur l'environnement est proposée (d'après Nimis & Bargagli, 1999). Les valeurs dosées dans les lichens n'étant pas soumises à une législation particulière, nous proposons ici une comparaison aux valeurs de référence.

Tableau 6 : Correspondance code couleur / naturalité.








	Naturalité très importante		Altération moyenne
	Naturalité importante		Altération élevée
	Naturalité moyenne		Altération très élevée
	Naturalité / altération basse		

Tableau 7 : Naturalité de chaque site vis-à-vis des concentrations en métaux.

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
L1	0,45	0,04	0,43	2,62	10,40	0,06	82,90	1,91	3,11	0,27	1,37	32,20
L2	1,55	0,30	1,80	11,60	69,00	0,08	214,00	8,21	61,50	2,45	4,58	184,00
L3	0,34	0,04	0,21	1,78	4,55	0,05	22,00	0,96	1,41	0,00	1,03	21,10
L4	0,43	0,09	0,38	2,83	24,30	0,06	57,10	1,85	14,50	0,54	1,34	43,40
L5	0,34	0,05	0,27	1,65	10,40	0,05	27,10	1,06	1,74	0,21	1,13	35,90
L6	0,24	0,08	0,24	0,93	19,70	0,05	20,90	0,86	2,97	0,14	1,08	41,30
L8	0,46	0,21	0,52	3,87	19,50	0,10	38,70	3,43	11,00	0,63	1,24	64,20

Il ressort de ce tableau que le site L2 montre les plus importants écarts à la naturalité et ce, pour tous les métaux exceptés le cadmium et le mercure. L'altération est même qualifiée de « très élevée » pour le chrome et le nickel. L'impact de la déposition métallique est confirmé ici pour ce site.

Deux métaux ressortent également, le cuivre avec une altération basse sur L4 et le nickel avec une altération élevée sur L8.

3.1.3 Comparaisons temporelles

Les données sont compilées depuis 2014 dans les graphiques suivants. Comme pour chaque usine suivie, des pics peuvent apparaître une année et disparaître l'année suivante ; cela est généralement dû à une cause non identifiée et qui va influencer localement et sur un pas de temps court.

Aucun des pics observés en 2020 ne se maintient en 2021 (pour donner un plateau), toutefois 6 métaux montrent une augmentation de plus d'un tiers de leurs concentrations entre ces deux campagnes : le cuivre sur L1, cadmium/manganèse/zinc sur L2, mercure/nickel sur L8. Ces métaux seront donc à suivre en 2022. Les autres concentrations ont soit faiblement augmenté ou ont, en très grande majorité, toutes baissé (notamment pour tous les métaux sur L3 et L4).

Depuis 2014, les tendances sont plus mitigées. Après au moins 3 campagnes, il est possible de réaliser une analyse un peu plus fine des résultats, en travaillant notamment sur les tendances évolutives, calculées à partir de la "pente directrice" : les résultats sont représentés en points sur un graphique temps/concentrations (abscisse/ordonnée) où l'on peut dessiner une droite qui passera au plus près de tous les points. La pente est une valeur qui décrit l'inclinaison de la droite et précise si celle-ci tend vers le haut ou vers le bas. Cet outil statistique permet ainsi de voir si sur une échelle de temps donnée, les concentrations auront tendance à diminuer (la pente est alors négative) ou au contraire à augmenter (la pente est positive). Le graphique ci-dessous montre les pentes cumulées par métal et par site. Cuivre (particulièrement notable) et plomb sont les deux seuls métaux à diminuer sur tous les sites pour cette période. La moyenne pour le cadmium, cuivre, mercure, plomb, vanadium et le zinc montre une diminution de ces métaux sur le secteur d'étude. Le site L2 est le seul où la moyenne des métaux montre une augmentation, alors que la baisse est notable pour L4 et L5.

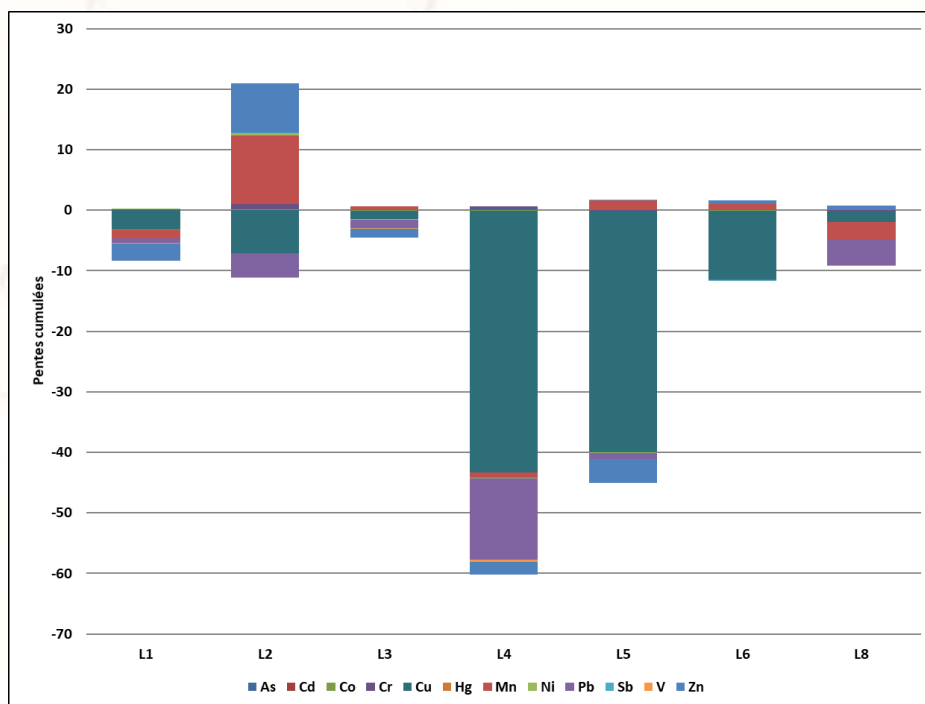
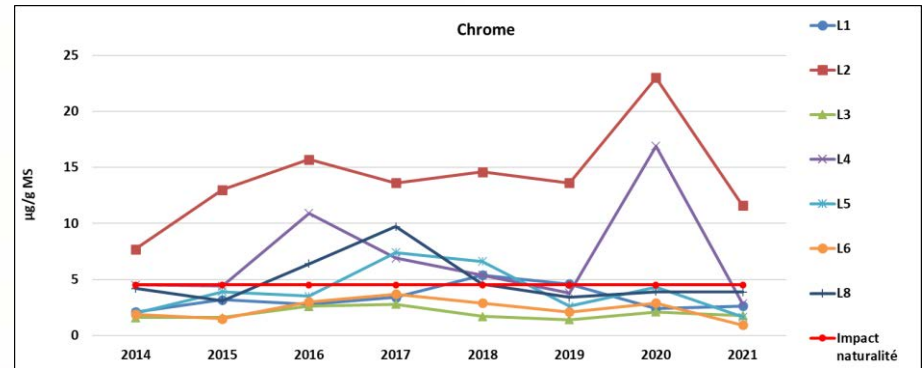
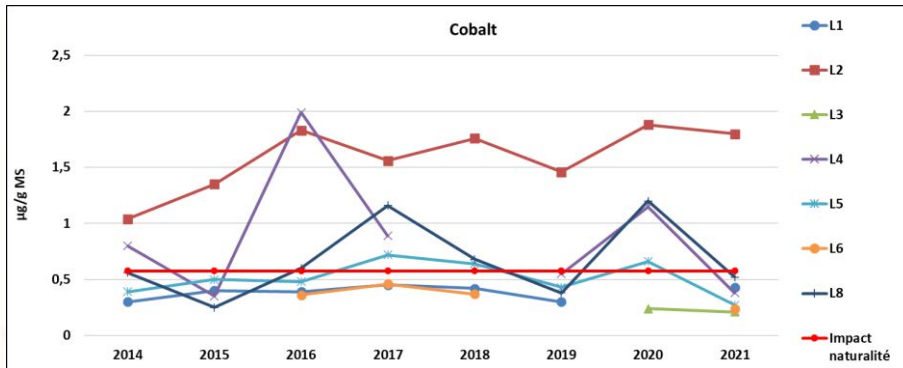
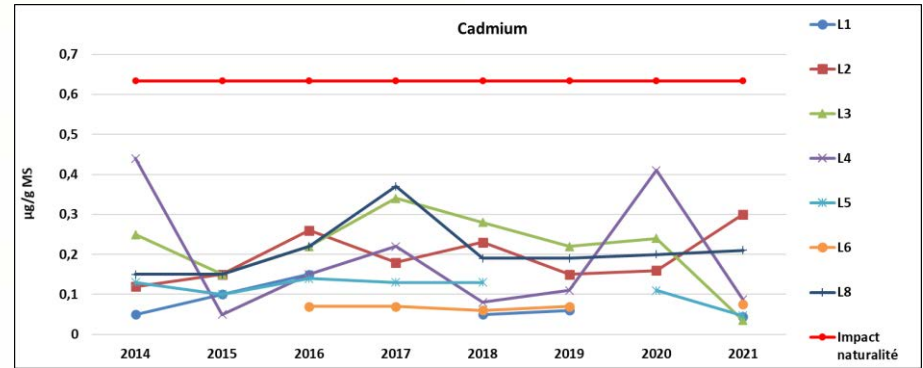
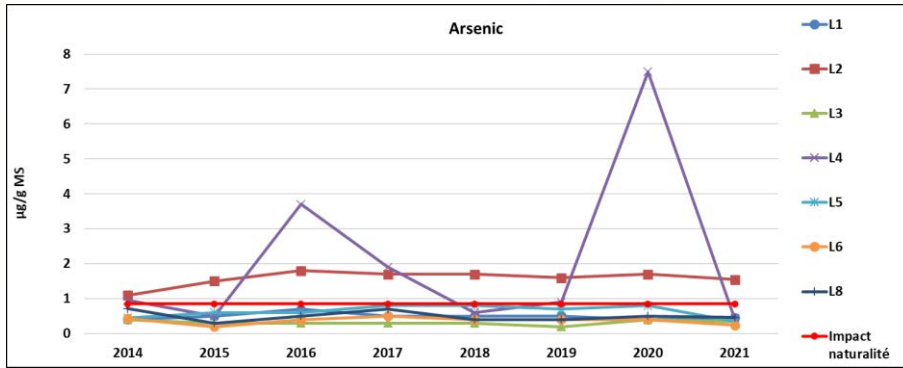
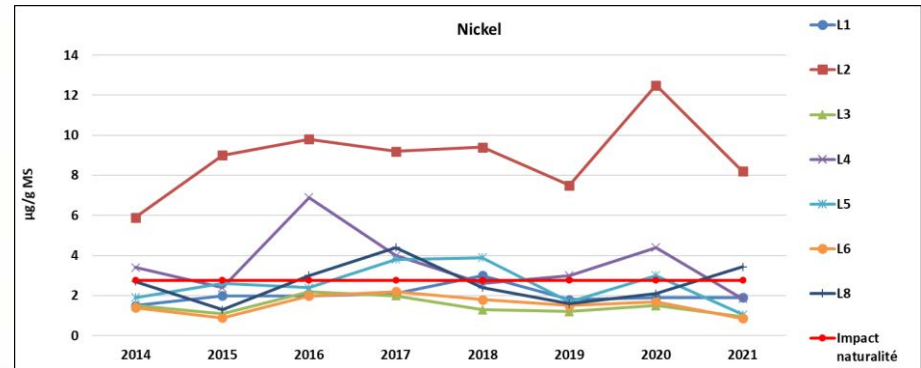
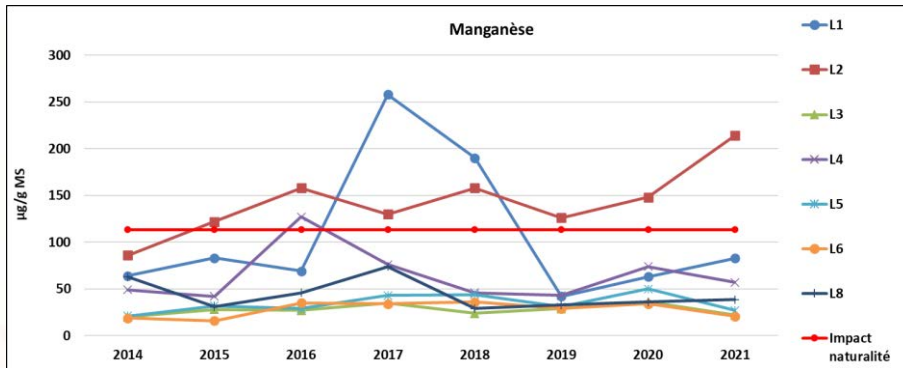
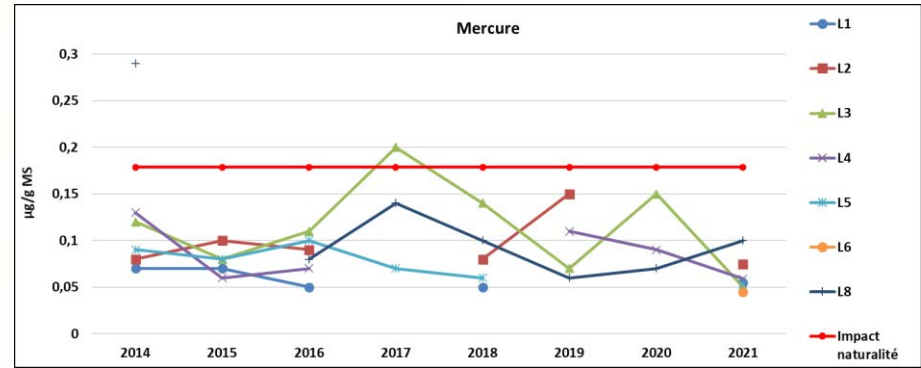
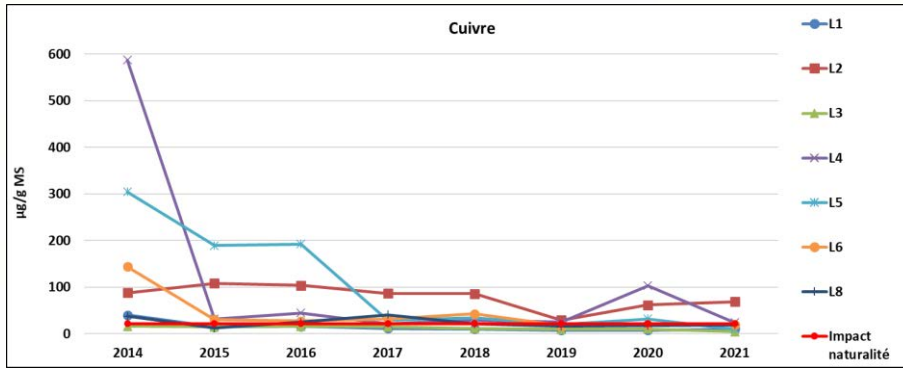


Figure 8 : Tendances évolutives 2014-2021 par site.





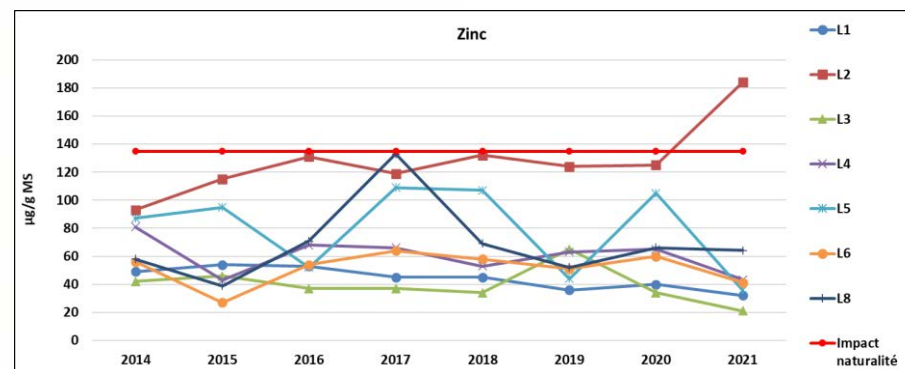
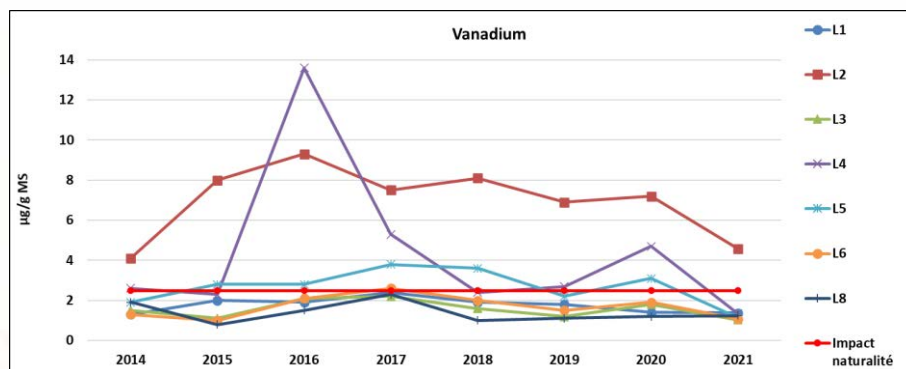
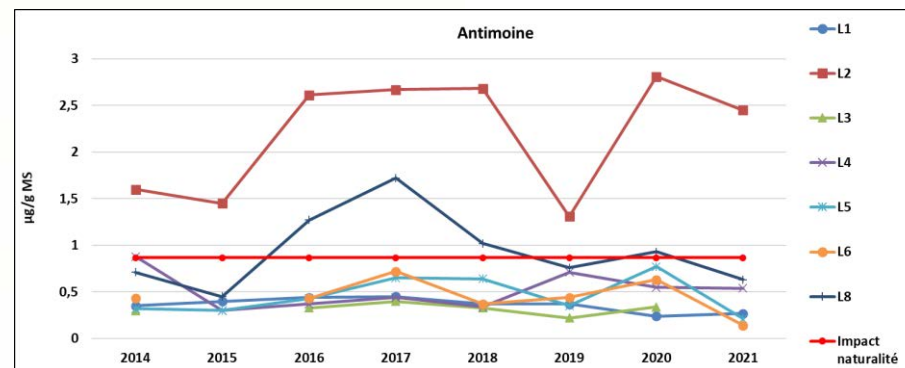
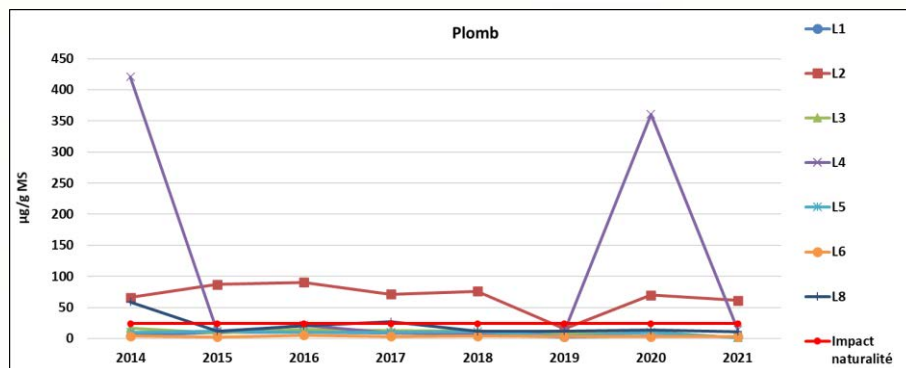
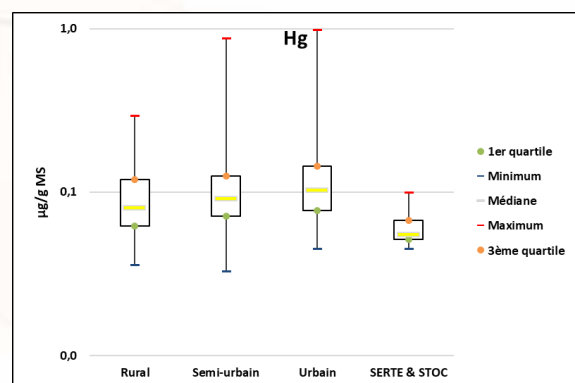
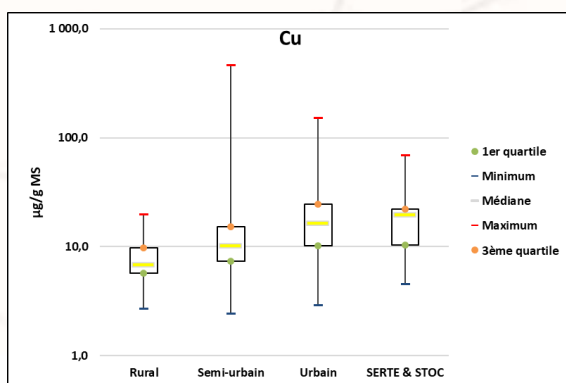
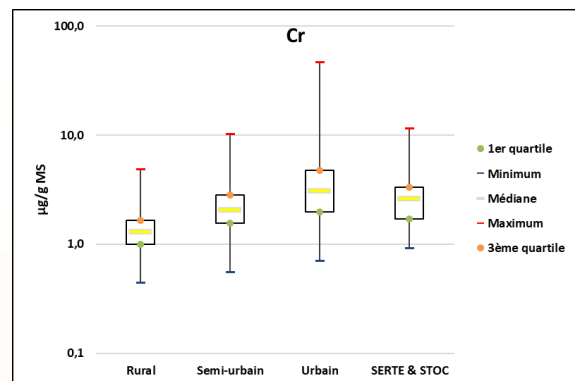
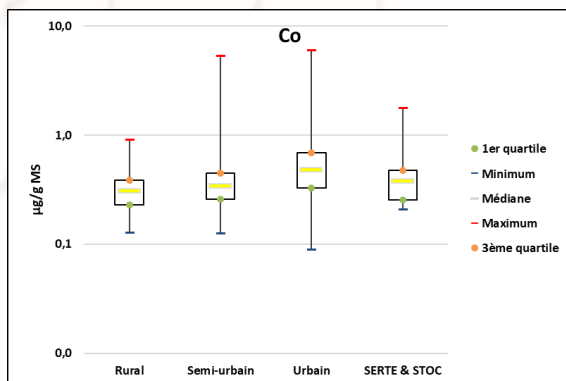
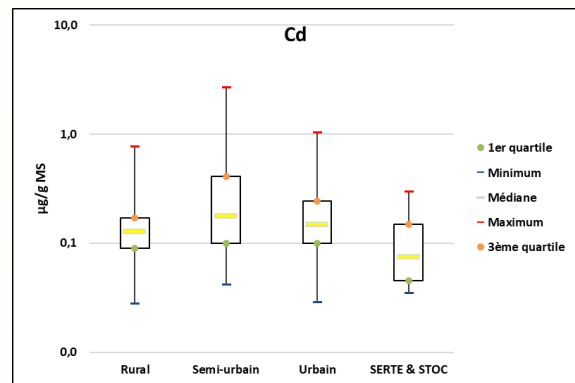
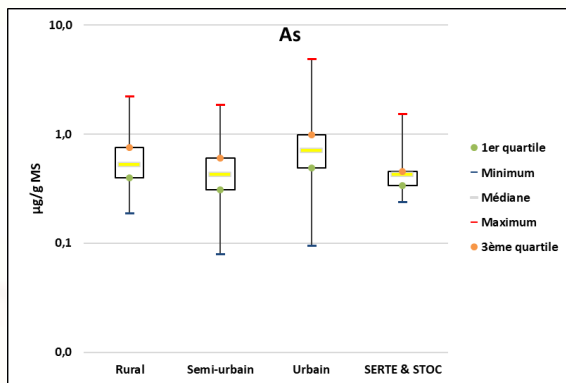


Figure 9 Evolutions temporelles (2014-2021) décomposées par métal.

3.1.4 Analyse globalisée

A partir de sa base de données bibliographique, des statistiques sont effectuées sur les résultats de l'ensemble des sites industriels suivis par Evinerude. Pour une meilleure lisibilité, ils sont représentés sous forme de « boîtes-à-moustaches » et présentés ci-après, avec les résultats de la campagne 2021.

Les profils obtenus sont très variés. Le cadmium et le mercure apparaissent globalement bas. Les autres métaux ont un profil semi-urbain (ce qui est pertinent au vu des localisations de prélèvements) ou urbain. Le profil atypique du plomb provient notamment de la valeur très élevée sur L2 par rapport aux autres concentrations.



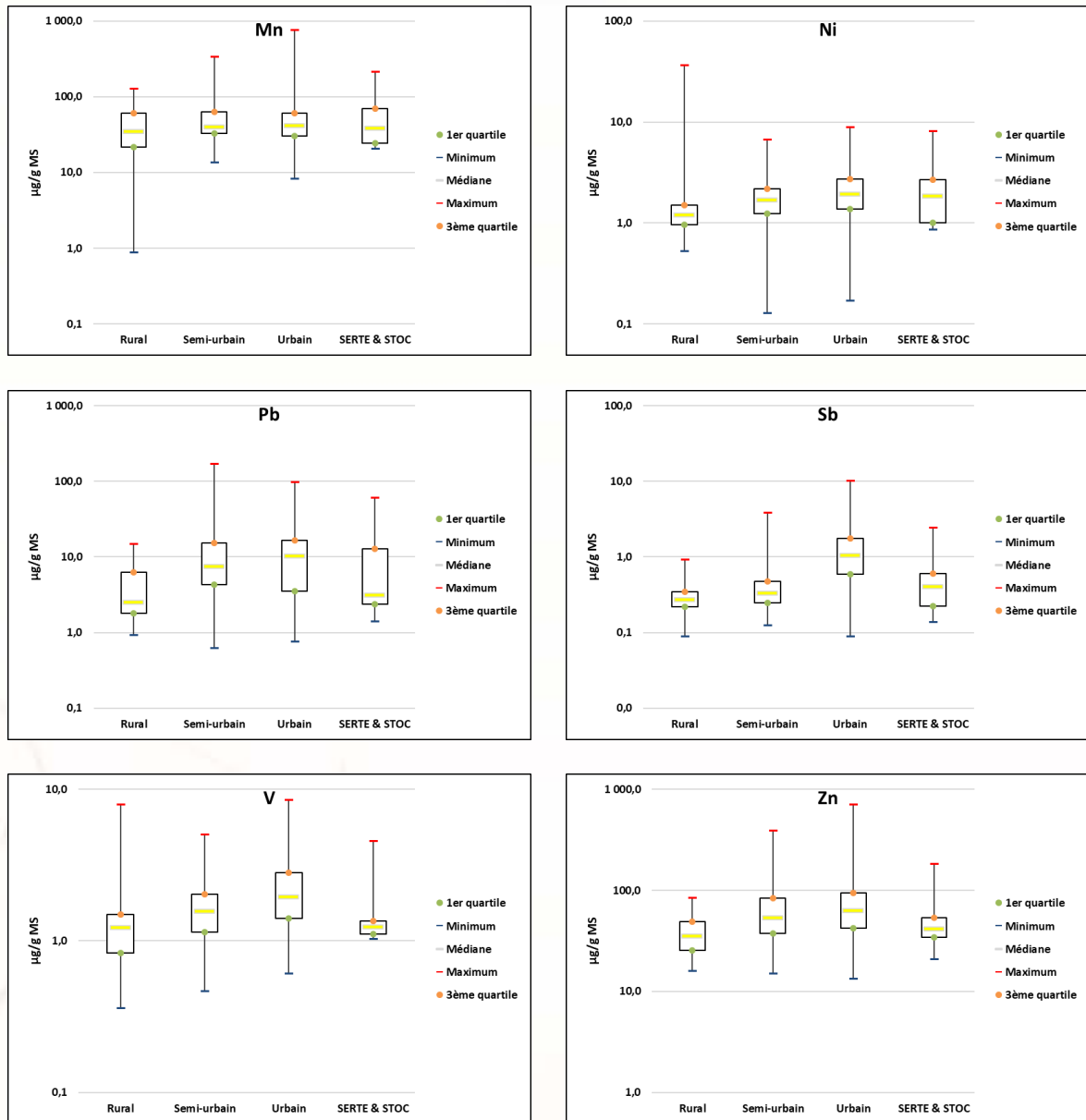


Figure 10 : Boîtes à moustaches ETM.

3.2 Dioxines-furanes

3.2.1 Résultats des dosages

Les résultats sont présentés ci-dessous en valeurs massiques et en équivalences toxiques (OTAN 98). L'indice I-TEQ va de 0,281 pour L1 à 1,124 pour L2.

Tableau 8 : Résultats des dosages de dioxines-furanes.

Site	Total (pg/g)	Total I-TEQ
L1	11,48	0,281
L2	117,36	1,124
L3	8,21	0,313
L4	24,57	0,426
L5	146,84	1,107
L6	13,31	0,442
L8	22,89	0,282

Le fait qu'il n'y ait pas de concordance entre le total massique et I-TEQ vient de la répartition des congénères : le site L2 montre une part plus importante de congénères plus toxiques que sur le site L5. Leurs poids dans le calcul de l'indice sont donc prépondérants. L'inverse est également vrai entre L1 et L3.

La moyenne urbaine statistique est de 3,27 pg/g I-TEQ, soit un rapport C_{Moy}/C_{Max} et C_{Moy}/C_{Min} variant de 2,91 pour L2 à 11,64 pour L1. A la lecture de la figure suivante, comme pour les métaux, aucun lien direct n'apparaît entre l'influence des vents, la distance aux usines et la déposition organique.

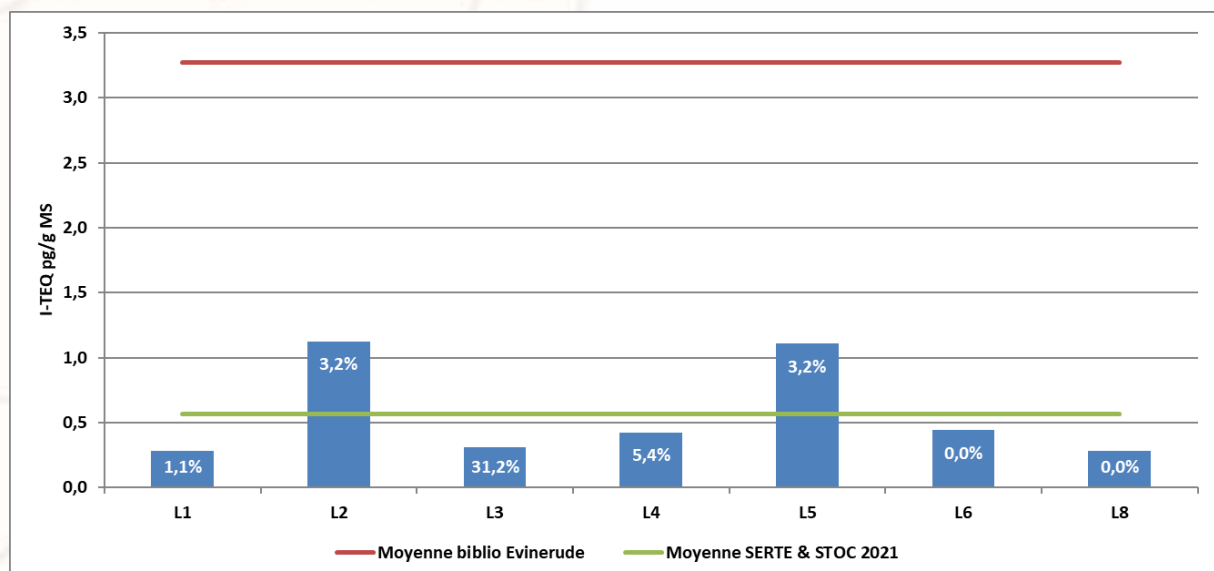


Figure 11 : Résultats des dosages de dioxines-furanes.

Le SERTE et le STOC surveillent en semi-continu les rejets des dioxines et furanes sur une période longue qui sont prescrites dans l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter. Les résultats exprimés

par congénère sont moyennés sur le trimestre précédant les prélèvements, période de maximum de représentativité des valeurs mesurées dans les lichens par rapport aux concentrations atmosphériques.

Des différences apparaissent dans les profils de déposition, ce qui laisse supposer des influences multiples. En effet, il serait possible de rapprocher les histogrammes L2 avec L5, puis L1 avec L3 et L6... Toutefois, au vu de la localisation de ces sites, ils ne peuvent pas être soumis à une seule et même source. Cela se confirme en comparant les ratios avec ceux des congénères émis par les usines. Les plus représentés sont également les plus lourds, ils doivent donc se déposer à proximité de l'usine et devraient être en plus faible quantité sur les sites les plus éloignés. Cette figure tend à prouver une fois de plus que les deux usines ne peuvent être les seuls émetteurs, ni même les principaux.

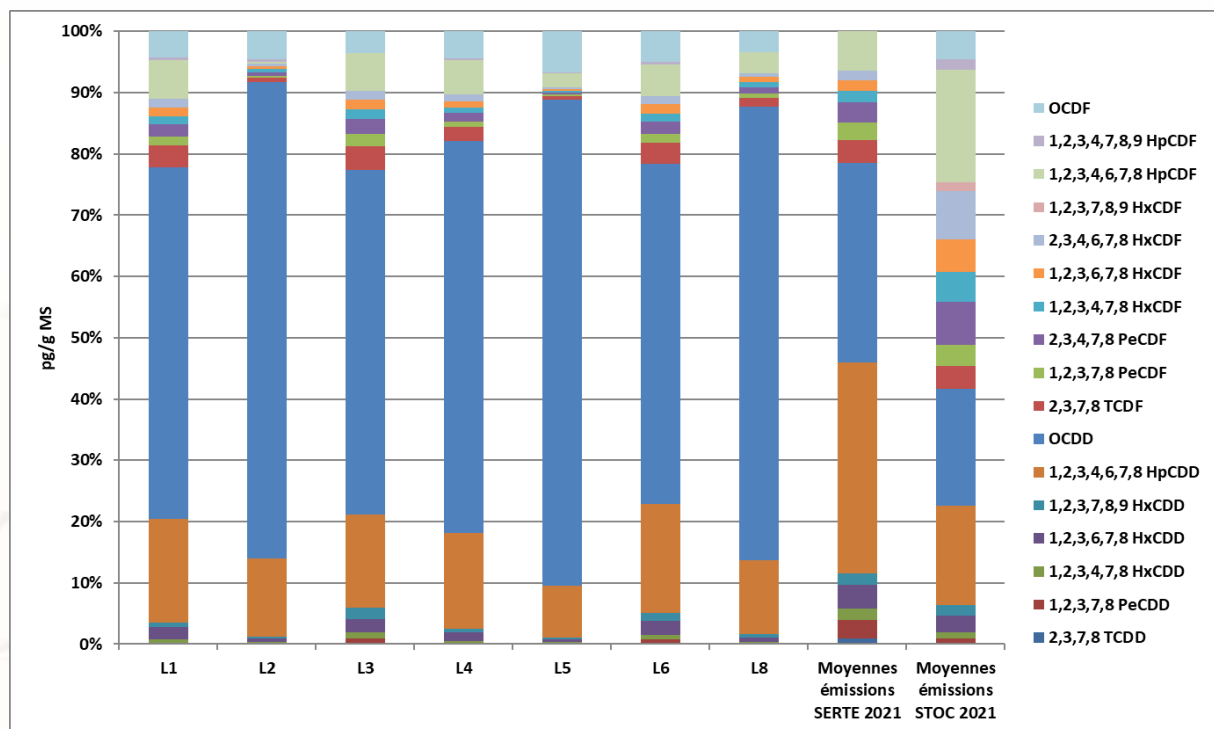


Figure 12 : Histogrammes des congénères des dioxines-furanes.

3.2.2 Comparaison aux valeurs de naturalité

Comme pour les métaux, une étude d'impact sur la naturalité est effectuée sur les valeurs obtenues, et est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9 Naturalité de chaque site vis-à-vis des concentrations en dioxines-furanes.

	Total (pg/g)	Total I-TEQ		Total (pg/g)	Total I-TEQ
L1	11,48	0,281	L5	146,84	1,107
L2	117,36	1,124	L6	13,31	0,442
L3	8,21	0,313	L8	22,89	0,282
L4	24,57	0,426			

Comme attendu, aucune concentration ne montre d'impact sur la naturalité.

3.2.3 Comparaisons temporelles

La figure suivante présente les valeurs massiques et I-TEQ sur 8 campagnes.

Pa rapport à 2020, pour tous les sites nous observons une diminution des valeurs, excepté le total massique pour L5 qui augmente bien que l'indice I-TEQ, lui, diminue, ce qui s'explique là encore par le fait que ce sont les congénères les moins toxiques qui sont plus représentés.

Depuis 2014, la tendance est à la baisse pour l'ensemble des sites, excepté pour la valeur massique de L4 mais cela est dû au pic de 2020 qui tire positivement la tendance. Si le total massique 2022 est au même niveau que lors des campagnes précédentes, la tendance tendra alors vers 0 avant de devenir négative.



Figure 13 : Comparisons temporelles (2014-2021) des concentrations massiques et I-TEQ des dioxines-furanes.

3.2.4 Analyse globalisée

Au vu des résultats précédents, il est logique que la représentation statistique des valeurs montre un profil très bas, même pour un site rural.

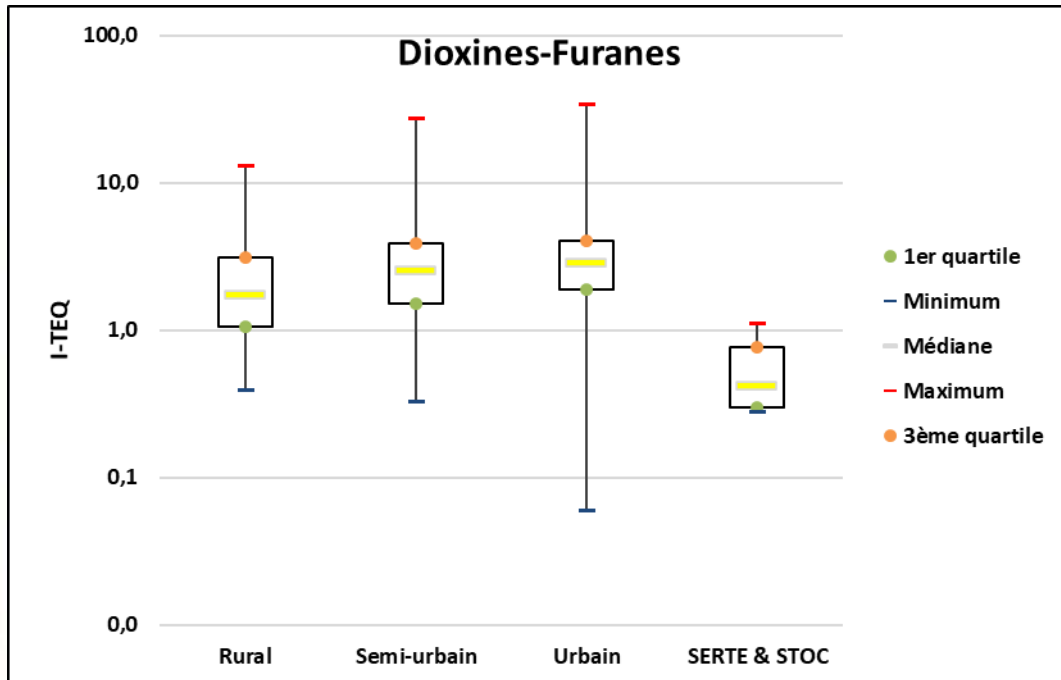


Figure 14 : Boîte à moustaches D-F.

3.3 PCB de type dioxines

3.3.1 Résultats des dosages

Les résultats sont exprimés ci-après en valeurs massiques et en indices I-TEQ (OMS 1998). Les valeurs I-TEQ vont de 0,016 sur L3 à 7,084 sur L2.

Tableau 10 : Résultat des dosages de PCB-DL.

Site	Total (pg/g)	Total I-TEQ
L1	415,71	0,047
L2	3856,35	7,084
L3	119,10	0,016
L4	211,02	0,028
L5	194,76	0,026
L6	302,44	0,039
L8	217,64	0,030

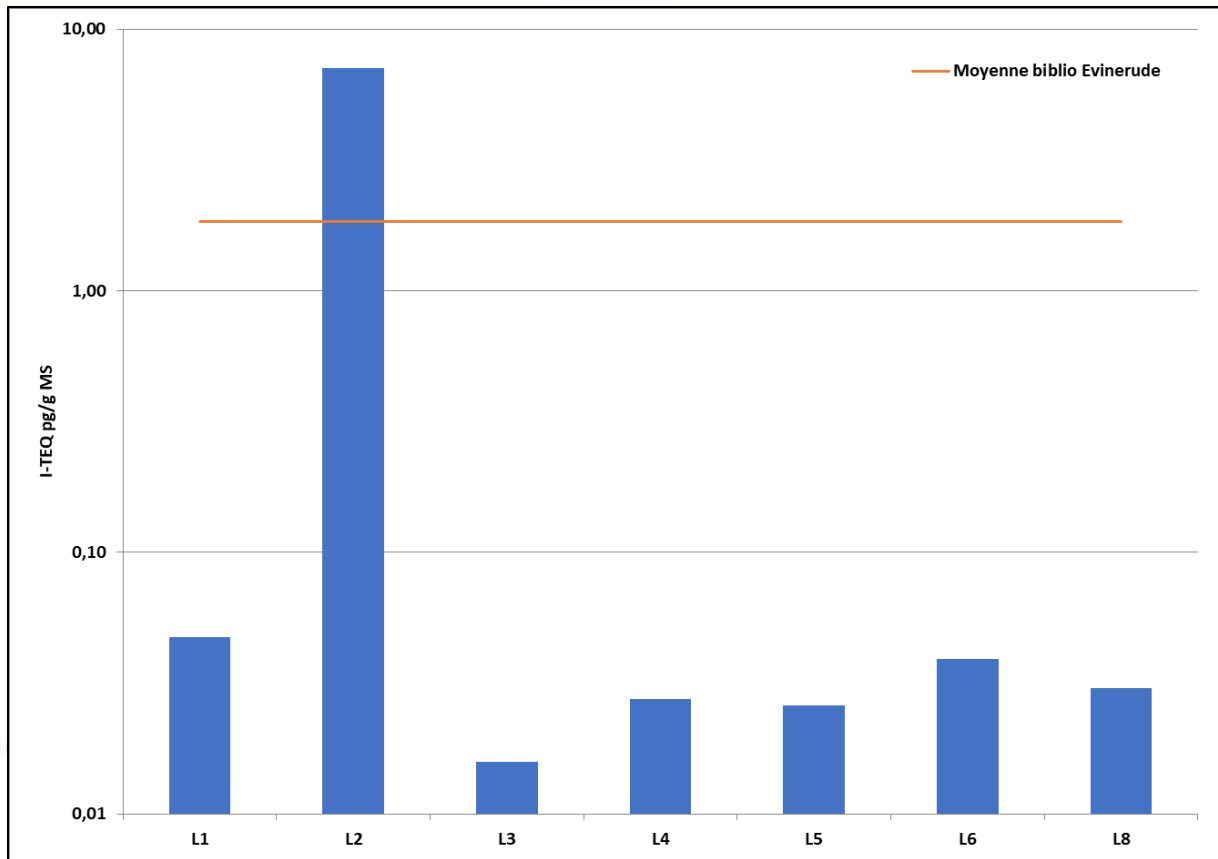


Figure 15 : Résultats des dosages de PCB-DL.

Le site L2 se démarque très nettement des autres (dont les valeurs I-TEQ sont proches entre elles) avec un indice 3,9 fois supérieur à la moyenne bibliographique (donnée interne à Evinerude).

Comme le montre la Figure 16, l'indice -I-TEQ n'est pas seulement dû à une présence importante de congénères toxiques, mais à une présence marquée de l'ensemble des congénères.

La Figure 17 montre que les proportions entre congénères isolent plusieurs sites les uns par rapport aux autres (pas de comparaisons possibles). L2 apparaît donc soumis à une source particulière et distincte et l'hypothèse multi-sources est d'autant plus renforcée ici.

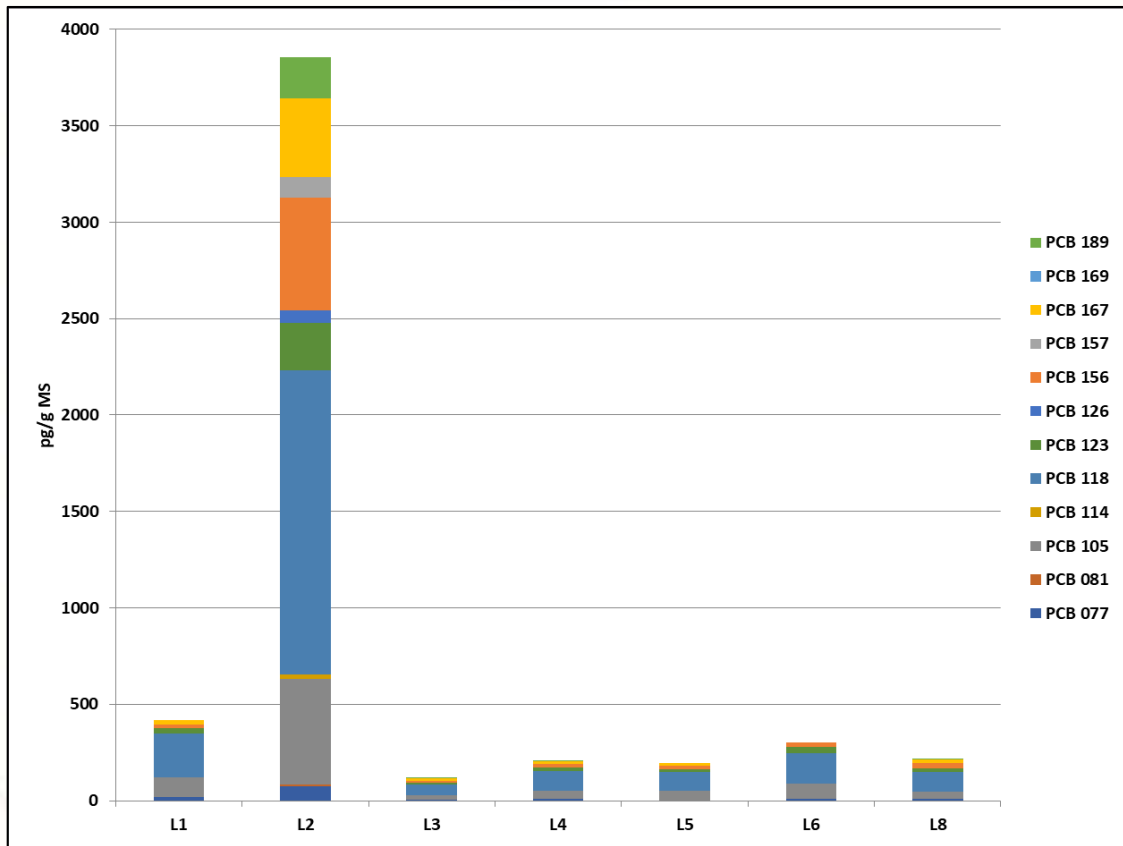


Figure 16 : Cumul massique des concentrations de PCB-DL.

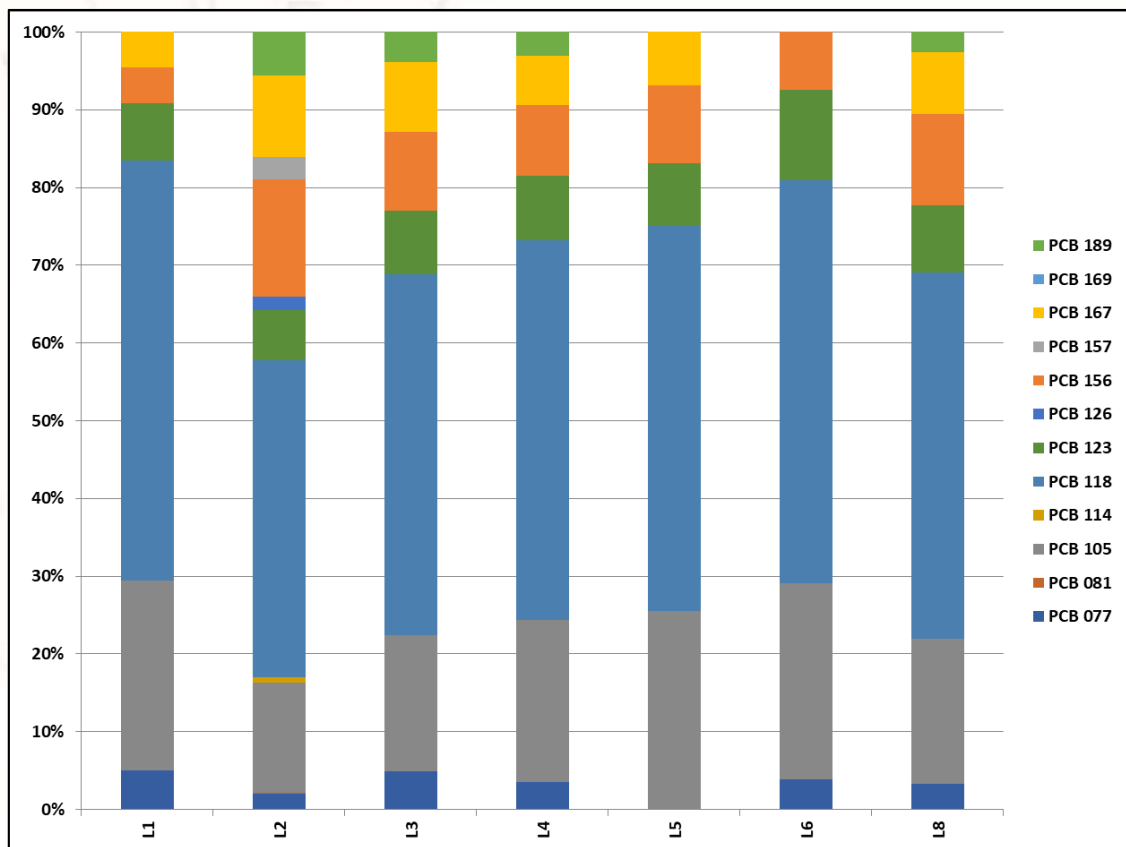


Figure 17 : Répartition des congénères de PCB-DL.

3.3.2 Comparaisons aux valeurs de naturalité

Malgré les valeurs (massique et ITEQ) très différentes observées chez L2, celles-ci entraînent uniquement une altération basse de la naturalité

Tableau 11 : Naturalité de chaque site vis-à-vis des concentrations en PCB-DL.

	Total (pg/g)	Total I-TEQ
L1	415,71	0,047
L2	3856,35	7,084
L3	119,10	0,016
L4	211,02	0,028
L5	194,76	0,026
L6	302,44	0,039
L8	217,64	0,030

3.3.3 Comparaisons temporelles

D'après la Figure 18, toutes les valeurs ont diminué entre 2020 et 2021, de façon très importante dans la plupart des cas.

En tendance sur les 8 campagnes, la baisse est plus marquée pour les indices I-TEQ que pour les valeurs massiques, ce qui veut dire une fois de plus que les congénères les plus toxiques sont ceux ayant le plus diminué en concentration.

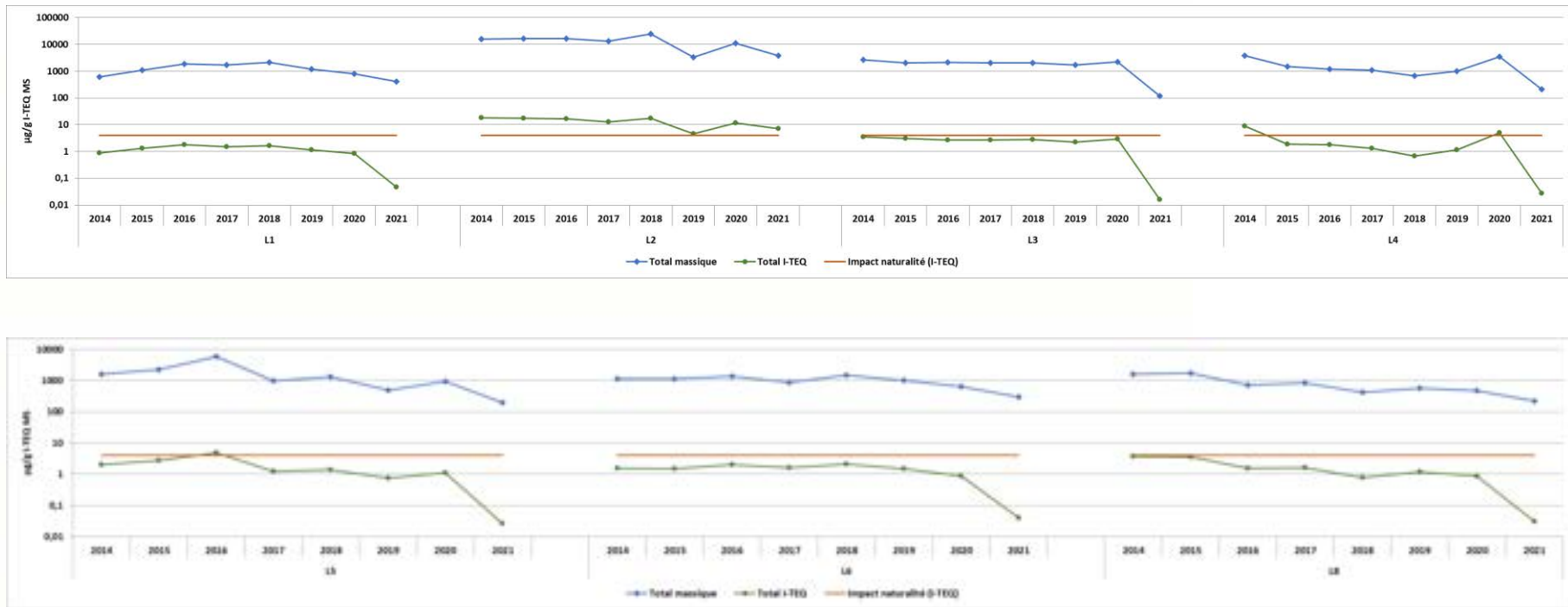


Figure 18 : Comparaisons temporelles (2014-2021) des concentrations massiques et I-TEQ des PCB-DL.

4. Conclusions et perspectives

Au vu de leur proximité, le SERTE et le STOC surveillent conjointement leur impact sur l'environnement, notamment à l'aide de la bioaccumulation lichénique. 8 campagnes de mesures en composés organiques et inorganiques sont disponibles pour étudier leurs évolutions dans le temps.

Concernant la déposition métallique, le site L2 apparaît clairement comme celui où elle est la plus importante, tant en quantité totale (somme des concentrations) qu'en participation (influence des valeurs maximales). Hormis le cadmium et le mercure, tous ces métaux ont un impact sur la naturalité de ce point. Historiquement, il est le site le plus impacté par les métaux suivis excepté pour le mercure qui se retrouve généralement sur L3. Ce dernier site est, avec L6, ceux où la déposition est la moins importante pour cette campagne, ce qui se vérifie également d'après l'historique.

Le cuivre et le nickel sont les deux seuls métaux à avoir un impact sur la naturalité sur un second site (autre que L2), à savoir sur L4 et L8 respectivement.

Aucun lien ne peut être établi entre ces résultats et les paramètres de localisation ou de direction des vents, le SERTE et le STOC n'apparaissent donc pas comme les émetteurs majeurs et influençant ces sites, qui semblent plus sous l'influence de sources locales de proximité.

Globalement, depuis 2014, les concentrations sont à la baisse sur l'ensemble de la zone d'étude, malgré des pics de certains métaux selon les années mais qui ne se retrouvent pas les années suivantes. La baisse est particulièrement visible sur L4 et L5 alors que sur L2, la tendance est au contraire à l'augmentation des valeurs.

Concernant les dioxines-furanes, les sites les moins impactés sont L3 et L1 pour, respectivement, le total massique et le total I-TEQ. A l'inverse, L5 et L2 sont les plus impactés. Toutefois, les valeurs de l'indice I-TEQ sont (très) inférieures à la moyenne bibliographique. Cet indice tend à diminuer sur l'ensemble des sites depuis le début des suivis.

Concernant les PCB-DL, L3 et L2 sont, respectivement, le moins et le plus impacté par la déposition de ces composés. Seul l'indice I-TEQ de L2 dépasse la moyenne bibliographique, entraînant un impact sur la naturalité – ce qui est le cas depuis 2014.

L'étude des congénères montre que chaque site semble influencé par une source distincte.

Le suivi temporel nous informe que les congénères les plus toxiques sont ceux ayant le plus diminué depuis 2020, et globalement depuis 2014.

Le site L2, à l'ambiance la plus industrielle, est celui où l'impact des métaux et des composés organiques se fait le plus ressentir.

Au vu de l'absence de lichens sur L2 et L5, ceux-ci devront être déplacés au plus proche. Si toutefois il est demandé de suivre à nouveau les localisations initiales, la méthode des transplants (initiée dans les années 60 au Canada) s'avérera indispensable.

Cette dernière méthode consiste à récupérer des lichens sur un milieu témoin puis à les installer durant une période de 3 mois minimum sur site afin de les exposer à l'ambiance atmosphérique locale. Durant ce trimestre, la déposition entraînera un équilibre entre les concentrations internes et externes. Le prélèvement des échantillons puis les dosages de polluants seront alors représentatifs au même titre que les prélèvements de lichens autochtones.



Photo 9 : Illustration de transplants.

Cela sous-entend que le commanditaire devra anticiper la campagne 2022 en demandant en mai-juin au plus tard à Evinerude de s'en occuper (récolte / préparation / installation).

5. Les textes réglementaires

5.1 Les textes nationaux

Il existe de nombreux textes auxquels se référer, mais dans l'absolu les mesures et restrictions sont reprises d'un texte à l'autre, adaptées en fonction du contexte local. Ainsi, depuis les directives parlementaires européennes nous en arrivons aux arrêtés préfectoraux.

Les grands textes de références à prendre en compte sont :

- ✓ la directive 2010/75/UE du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution) (JOUE n° L 334 du 17 décembre 2010).
- ✓ La Loi n° 96-1236 du 30/12/1996 sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie dite LAURE (J.O. n°1 du 01/01/1997, pages 11 à 19).
- ✓ L'arrêté du 20/09/2002 du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (modifié le 11 décembre 2016 par l'arrêté du 7 décembre 2016), relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux (JO. RF du 01/12/2002, pages 19778 à 19789).

Ils distinguent en fonction des éléments concernés, les valeurs limites à ne pas dépasser en sortie de cheminée, et le premier texte prévoit également de mesurer deux fois par an les émissions de dioxines et impose un programme de suivi de l'impact de l'installation sur l'environnement en particulier pour les dioxines et les métaux lourds.

A ces textes s'en ajoutent d'autres fixant des valeurs seuil dans l'air ambiant pour certains métaux : la Directive européenne 2004/107/CE du 15 Décembre 2004 modifiée par la Directive 2015/1480 du 28 août 2015 établissant les règles concernant les méthodes de référence, la validation des données et l'emplacement des points de prélèvement pour l'évaluation de la qualité de l'air ambiant. Ces documents s'intéressent spécifiquement aux HAP et aux métaux. Trois métaux en plus du plomb sont ainsi réglementés en France : l'arsenic, le cadmium et le nickel. Des valeurs cibles sont définies et doivent être respectées depuis le 1er janvier 2012.

5.2 Le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET) en AURA

La loi portant nouvelle organisation territoriale de la République dite loi Notre crée un nouveau schéma de planification dont l'élaboration est confiée aux régions : le "Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires" (SRADDET). En Auvergne-Rhône-Alpes, il a été approuvé par arrêté du préfet de région le 10 avril 2020.

Le document considère « un air de bonne qualité est une ressource vitale pour les habitants de la région ». Il édicte des règles dont :

- ✓ n°32 – Diminution des émissions de polluants dans l'atmosphère
- ✓ n°33 – Réduction de l'exposition de la population aux polluants atmosphériques

L'utilisation des bioindicateurs peut s'inscrire au sein de ces deux règles. Présents en de très nombreux sites, ils permettent de caractériser la qualité de l'air sur différents secteurs habités. De plus, l'utilisation directe d'organismes vivants permet de donner (rapidement) une bonne idée de l'impact sanitaire sur l'être humain.

6. Méthodologie

6.1 Principe de la bioaccumulation lichénique

Pour surveiller la qualité de l'air, des réseaux de capteurs sont couramment utilisés. Ils permettent de réaliser des mesures physico-chimiques et de donner une valeur numérique, sans pour autant indiquer avec certitude un effet toxique associé à ces valeurs numériques et leurs effets de synergie. La biosurveillance permet de combler cette lacune : grâce à des organismes résistants (ici les lichens), on peut estimer la quantité totale d'un polluant accumulé dans cet organisme au bout d'un temps donné, sans que cette accumulation ne perturbe le métabolisme de l'organisme. L'individu devient alors un capteur vivant et non plus un modèle d'étude. Le choix des lichens comme bioindicateurs est motivé par plusieurs points :

- ✓ Contrairement aux végétaux supérieurs, ils sont dépourvus de moyens de lutte contre la pollution (pas de cuticule cireuse, pas de stomates, pas de système d'excrétion, structure végétative sous forme de thalle se traduisant par un ratio surface/volume très élevé).
- ✓ N'ayant ni racine, ni tige, ni feuille, ni appareil conducteur, ils sont incapables d'effectuer une régulation hydrique. Ils sont soumis aux fluctuations du milieu et peuvent absorber et accumuler sans distinction des quantités très importantes de substances prélevées dans l'atmosphère (air, eau, poussières, substances et gaz dissous). Ils sont ainsi soumis obligatoirement aux retombées des contaminants présents à la fois dans les dépôts secs et dans les dépôts humides, aussi bien gazeux que particulaires.
- ✓ Leur activité photosynthétique continue, leur taux de croissance très faible, leur grande longévité et leur productivité très faible font des lichens des espèces particulièrement sensibles utilisées dans la détection des pollutions (pollution acide, fluorée, métaux lourds, radioactivité...).

L'analyse de la qualité de l'air par la bioaccumulation se décompose alors en 5 temps :

- ✓ La première partie de terrain consiste à s'imprégner de la flore présente et de choisir quelle(s) espèce(s) seront utilisées (ici *Xanthoria parietina* et *Parmelia sulcata*), au vu de leurs abondances). Cette étape trop souvent ignorée est pourtant essentielle car il est important de prélever des spécimens comparables chimiquement afin de ne pas biaiser les résultats et sans quoi, il n'est pas possible de comparer fiablement deux prélèvements. **Aussi, il est nécessaire d'avoir une très bonne connaissance des lichens pour réaliser les bons prélèvements.**



Photo 10 : Prélèvements de terrain.

- ✓ Vient ensuite la récolte en elle-même avec toutes les précautions nécessaires pour éviter la contamination des échantillons (gants non talqués, scalpels stériles ou couteaux en céramique...). Un minimum de 10 g fut prélevé à partir de plusieurs sous-prélèvements ± éloignés les uns des autres (sous-échantillons ensuite poolés) afin d'être bien représentatifs de l'ambiance. Une attention fut portée au fait que les échantillons n'avaient pas été piétinés au préalable par les opérateurs ou par les animaux (aucune trace visible d'écrasement). Les échantillons constitués sont alors placés dans des sachets zip de type congélation alimentaire (pour une fermeture hermétique) puis stockés en conditions de température basse, conditions fraîches (il n'est pas nécessaire de les congeler mais de les maintenir à une température au moins inférieure à 20°C).
- ✓ L'étape suivante consiste au nettoyage des impuretés (débris, bois, insectes...). Le tri des échantillons est là encore crucial : il ne doit rester dans l'échantillon que de la masse lichénique débarrassée des résidus de terre, de mousses, des autres espèces de lichens... Les résultats des analyses étant ramenés à un poids sec d'échantillon, il faut donc évidemment veiller à la seule présence de lichen dans l'échantillon.
- ✓ Après envoi en laboratoire, les résultats des analyses chimiques sont alors interprétés à partir des analyses précédentes, des témoins et/ou de la bibliographie (ici, selon la bibliographie).
- ✓ Un important travail cartographique est réalisé par logiciel de Systèmes d'Informations Géographiques afin de restituer une représentation visuelle des résultats.

6.2 Éléments analysés

6.2.1 Les métaux lourds

Dits aussi ETM (Éléments Traces Métalliques), ils sont particulièrement surveillés lors de la réalisation de plans de surveillance de la qualité de l'air.

Ils ont une masse volumique supérieure à 5 kg/dm³. Certains comme le chrome, le cobalt, le cuivre, le manganèse, le nickel, le sélénium, le vanadium et le zinc sont aussi appelés oligo-éléments et sont vitaux à petite dose pour l'homme. D'autres comme le cadmium, l'étain, le mercure ou le plomb sont considérés comme toxiques.

Les analyses portent sur 13 métaux. Les limites de quantification relatives aux métaux sont présentées dans le ci-après (d'après Micropolluants Technologie) et sont réalisées selon le protocole suivant :

- lyophilisation de l'échantillon
- prise d'essai 0.5g d'échantillon sec
- minéralisation par acide nitrique
- dilution
- analyse par plasma à couplage inductif avec détecteur de spectrométrie d'émission atomique selon la norme EN ISO 17294-2- (ICP-MS), pour tous.

Les limites de quantification sont données par le laboratoire d'analyse. Elles correspondent aux seuils en-dessous desquels la quantité de substance ne peut plus être détectée à partir de la méthode analytique utilisée.

6.2.2 Les dioxines-furanes

Le mot dioxine désigne plus particulièrement les polychlorodibenzo-p-dioxines (ou PCDD), composés aromatiques tricycliques chlorés. On estime qu'elles présentent une faible toxicité en général pour l'homme, à l'exception quelques-unes, dont la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-dioxine, TCDD, surnommée dioxine de Seveso, seule dioxine reconnue cancérigène pour l'homme, d'après le centre international de recherche sur le cancer. Cependant, les autres dioxines sont reconnues comme étant tératogènes et induisant une fœtotoxicité, des baisses de la fertilité, ainsi que des troubles endocriniens.

Il en est de même pour les furanes, ou polychlorodibenzo-furanes (PCDF). Elles se différencient des dioxines par la présence d'un seul atome d'oxygène dans le cycle central entouré de deux cycles benzéniques.

Elles se caractérisent par leur grande stabilité chimique due à la présence des atomes de chlore qui peuvent se substituer ou non à des atomes d'hydrogène. Cette stabilité augmente donc avec le nombre d'atomes de chlore présents. Il est ainsi estimé que la demi-vie dans l'organisme est de 7 ans !

Il existe ainsi un grand nombre de combinaisons liées au nombre d'atomes de chlore et aux positions qu'ils occupent mais dont seuls 17 congénères (7 PCDD et 10 PCDF), sont reconnus comme toxiques ; toxicité définie par un facteur d'équivalent toxique (TEF : toxic equivalent factor) établi par l'OMS en 1998. A la molécule la plus toxique (2, 3, 7, 8-TCDD) est attribué le facteur TEF maximal de 1. Ensuite pour un mélange donné, le résultat important est l'équivalent toxique (TEQ : toxic equivalent quantity) ; pour le calculer il suffit de multiplier la concentration de chaque molécule par son TEF puis à additionner le tout.

Les dioxines/furanes sont analysées par chromatographie gazeuse haute résolution couplée à un spectromètre de masse haute résolution (HRGC/HRMS) suivant la méthode EPA 1613. L'incertitude sur l'analyse de PCDD/F est de 5 à 15 %.

6.2.3 Les PCB-DL

Par le terme "PCB" on désigne les polychlorobiphényles qui sont des composés chimiques synthétiques également connus sous le nom de pyralènes. La famille des PCB, qui appartient aux composés organochlorés polycycliques, regroupe 209 molécules appelées congénères. Ils n'existent pas à l'état naturel, ils sont fabriqués par l'homme.

Les 209 congénères de PCB sont répartis selon 2 catégories les PCB et les PCB de type dioxine. Parmi ces derniers, 12 sont considérés comme les plus toxiques pour la santé (n° 077, 081, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169 et 189). Comme pour les dioxines, leur impact est déduit du résultat en équivalent toxique (TEQ) calculé à partir de facteurs d'équivalence toxique pour chacun des congénères.

Les PCB-DL sont analysés par chromatographie gazeuse haute résolution couplée à un spectromètre de masse haute résolution (HRGC/HRMS) suivant les méthodes EPA 1613 et 1668.

6.2.4 Synthèse des LQ

Tableau 12 : Synthèse des LQ.

Aliment gras et non gras (Légumes, plantes aromatiques et lichens)		
Unité		mg/kg de MS
As	ICP-MS Méthode interne	0,025
Cd		0,025
Co		0,13
Cr		0,13
Cu		0,13
Mn		0,13
Ni		0,13
Pb		0,025
Sb		0,13
Tl		0,13
V		0,13
Zn		0,25
Hg		AFS Méthode interne
Cr-VI	Spectrophotométrie Méthode interne	0,25 MB

PCDD/F	LQ pg / échantillon	PCB DL	LQ pg / échantillon
2,3,7,8- TCDF	1	PCB 81	1
1,2,3,7,8- PeCDF	0.5	PCB 77	10
2,3,4,7,8- PeCDF	0.5	PCB 126	1
1,2,3,4,7,8- HexaCDF	0.5	PCB 169	1
1,2,3,6,7,8- HexaCDF	0.5	PCB 123	10
2,3,4,6,7,8- HexaCDF	0.5	PCB 118	500
1,2,3,7,8,9- HexaCDF	0.5	PCB 114	10
1,2,3,4,6,7,8- HeptaCDF	2	PCB 105	50
1,2,3,4,7,8,9- HeptaCDF	1	PCB 167	10
OCDF	5	PCB 156	10
2,3,7,8- TCDD	0.5	PCB 157	10
1,2,3,7,8- PeCDD	0.5	PCB 189	10
1,2,3,4,7,8- HexaCDD	0.5	TEQ selon OMS 1998	0.18
1,2,3,6,7,8- HexaCDD	0.5	TEQ selon OMS 2005	0.15
1,2,3,7,8,9- HexaCDD	0.5		
1,2,3,4,6,7,8- HeptaCDD	2		
OCDD	5		
TEQ selon OMS 1998	1.78		
TEQ selon OMS 2005	1.67		








6.2.5 Références pour la naturalité

A ce jour, il n'existe pas de valeurs réglementaires quant aux différentes teneurs en contaminants dans les lichens. Afin de pouvoir proposer une interprétation claire, nous appliquons le même principe que Nimis & Bargagli (1999) pour estimer la naturalité d'un site d'étude à partir des données issues d'autres travaux de bioaccumulation menés par notre société autour d'usines d'incinération lors de campagnes pluriannuelles (ce qui rend les comparaisons d'autant plus pertinentes par rapport à des données issues de la littérature, avec lesquelles nos valeurs restent toutefois en conformité).

Les études desquelles ces valeurs sont tirées ont été choisies pour leurs caractéristiques communes (vis-à-vis du site de l'UVE) quant à leur localisation en milieu semi-urbain, à proximité de communes de tailles moyennes et un centre urbain d'importance dans un rayon de 5 km. Les mesures sont ainsi groupées pour obtenir le Tableau 13 et le Tableau 14. Les valeurs correspondent aux minima et maxima mesurés depuis 2008, à la moyenne pour chaque élément (ou congénère dans le cas des dioxines-furanes) ainsi que le nombre de dosages qui ont permis ces calculs.

Tous nos dosages bibliographiques ont été compilés du moment qu'ils étaient issues d'études aux caractéristiques de localisation d'usine identiques à celle énoncée plus haut. Ils ont été groupés dans des classes statistiques de percentiles (d'après "Biomonitoraggio di metalli in tracia tramite licheni in aree a rischio del Friuli-Venezia Giulia", Nimis et al., 1999). **La naturalité est une notion subjective mais qui peut être traduite ici par "l'absence de signes de perturbation due à l'homme"**, ainsi plus la naturalité est forte, moins la pollution locale a une influence sur son environnement biologique. Chaque classe statistique correspond à des percentiles, ainsi une naturalité très importante sous-entend une valeur comprise dans la classe des 20 % plus basses valeurs des concentrations du polluant visé.

Tableau 13 : Correspondance code couleur/naturalité.

	Naturalité très importante	20 perc.
	Naturalité importante	50 perc.
	Naturalité moyenne	75 perc.
	Naturalité / altération basse	90 perc.
	Altération moyenne	95 perc.
	Altération élevée	98 perc.
	Altération très élevée	Max

7. Atlas cartographique

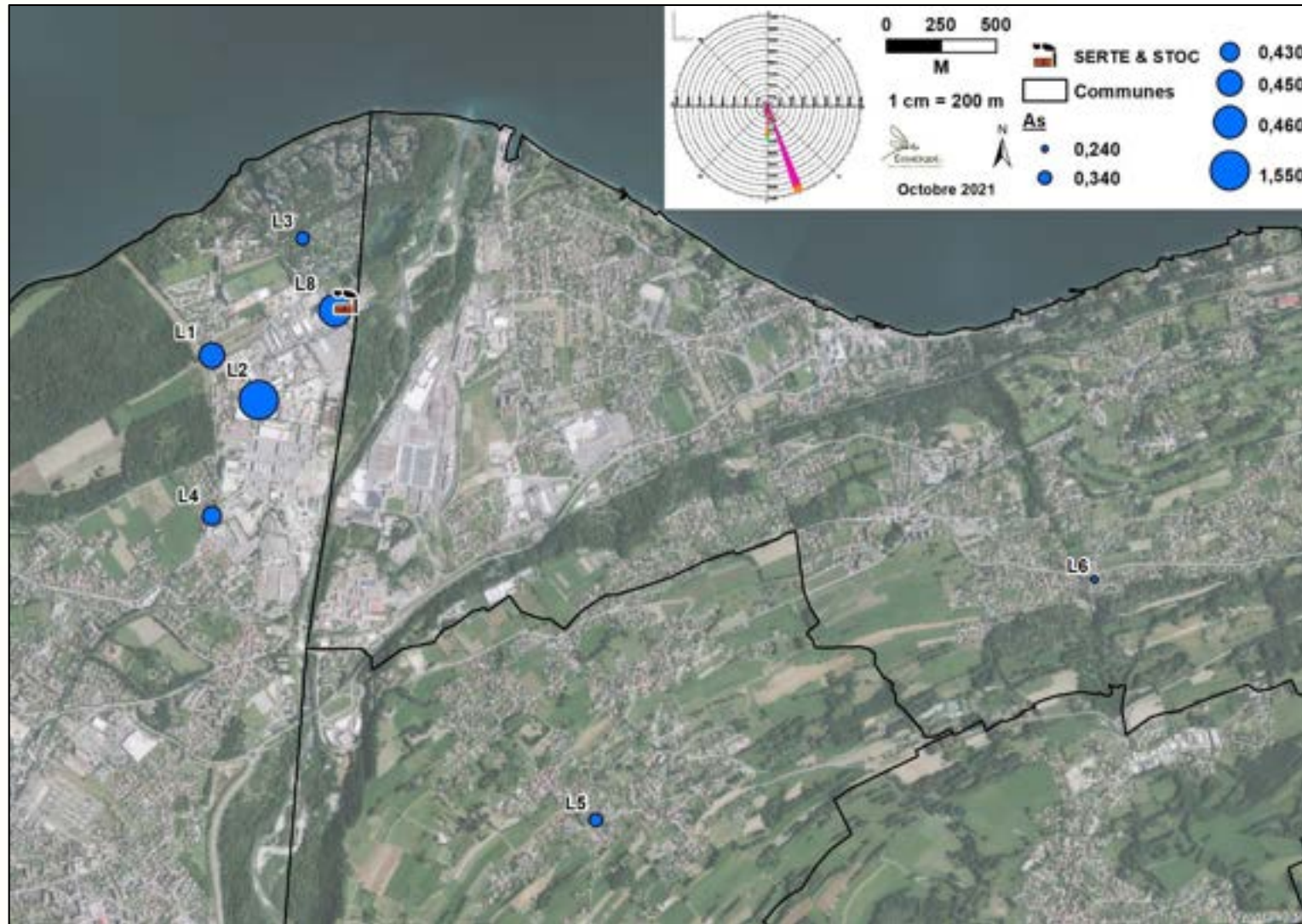


Figure 19 : Cartographie de l'arsenic.

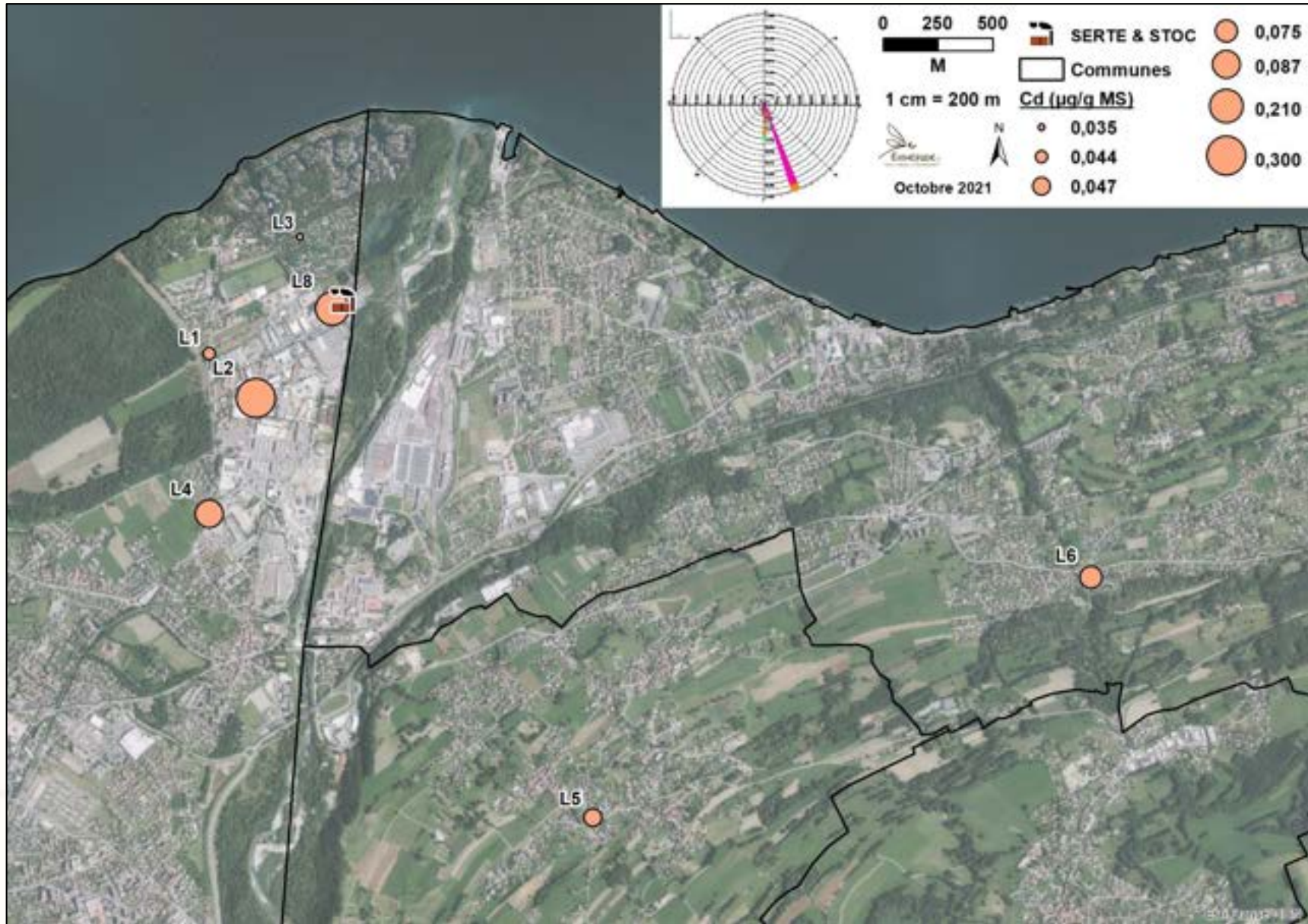


Figure 20 : Cartographie du cadmium.

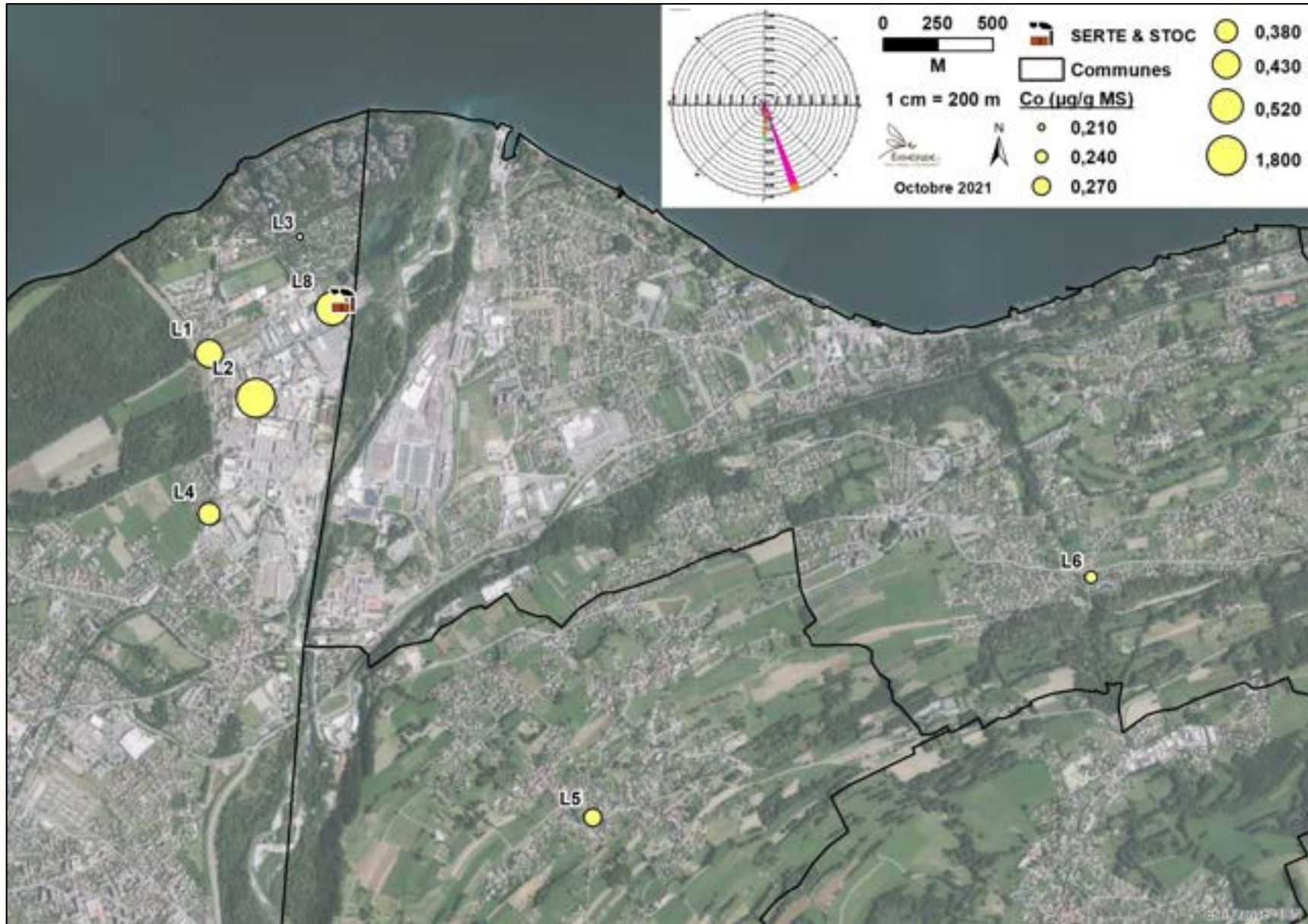


Figure 21 : Cartographie du cobalt.

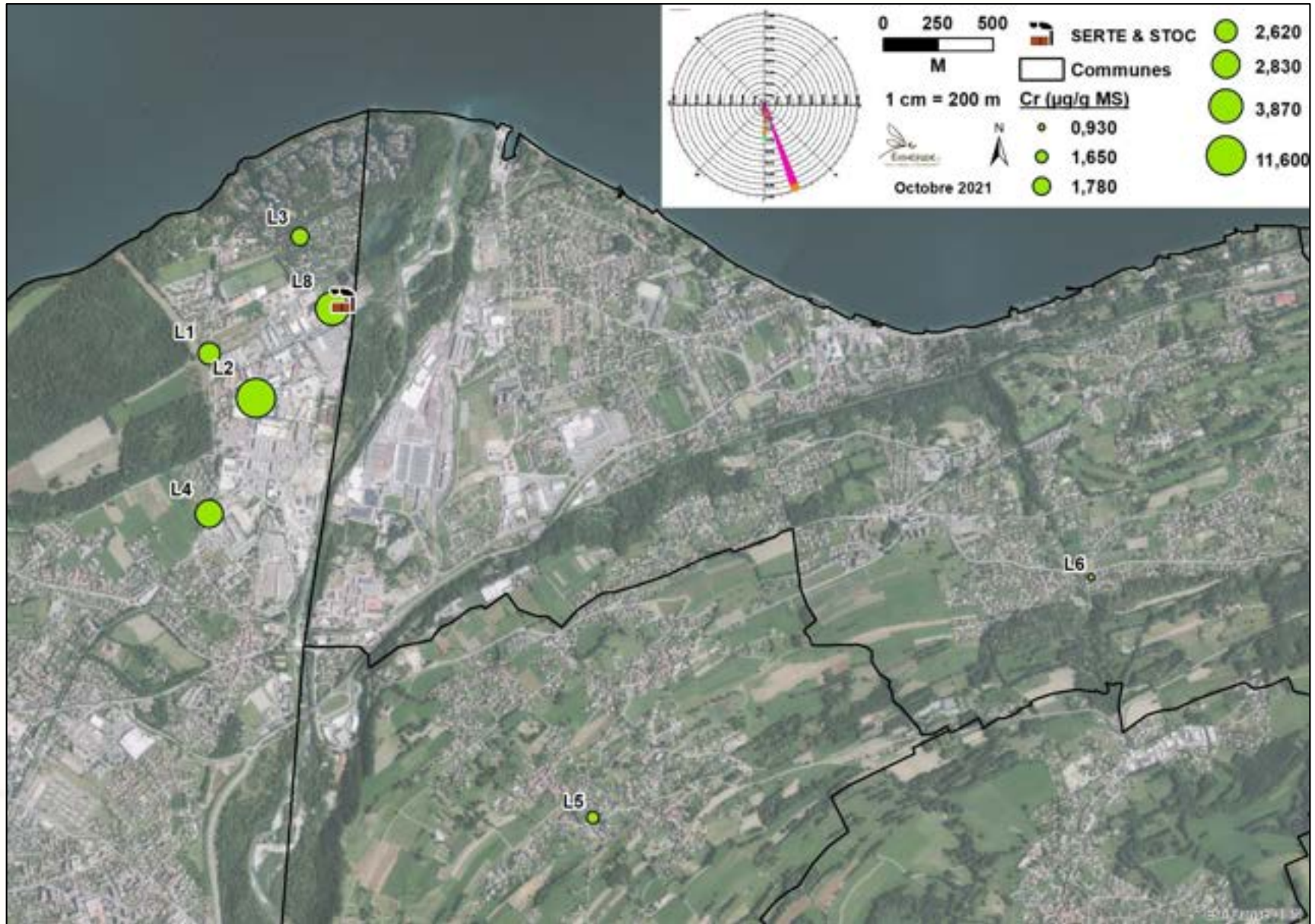


Figure 22 : Cartographie du chrome.

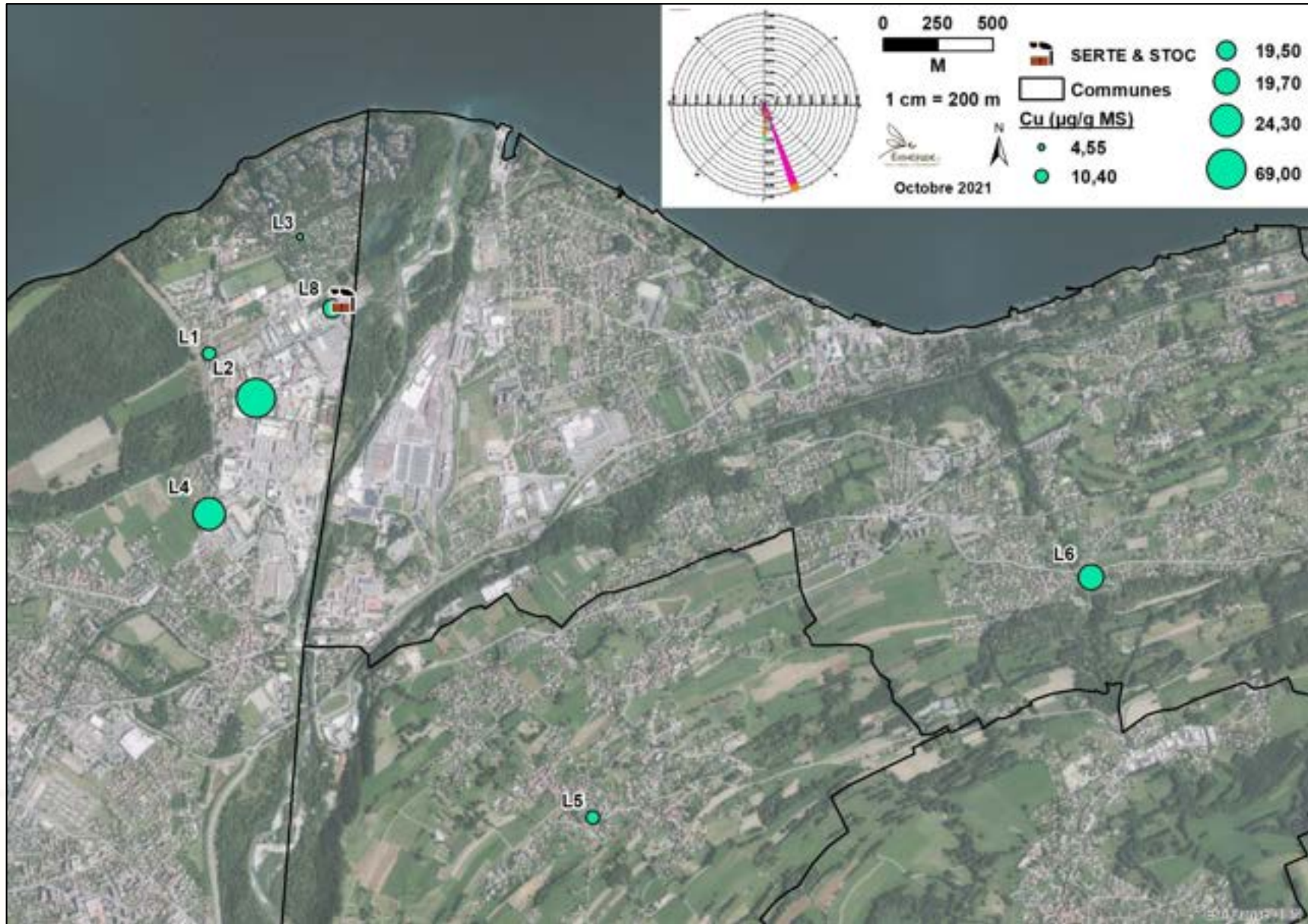


Figure 23 : Cartographie du cuivre.

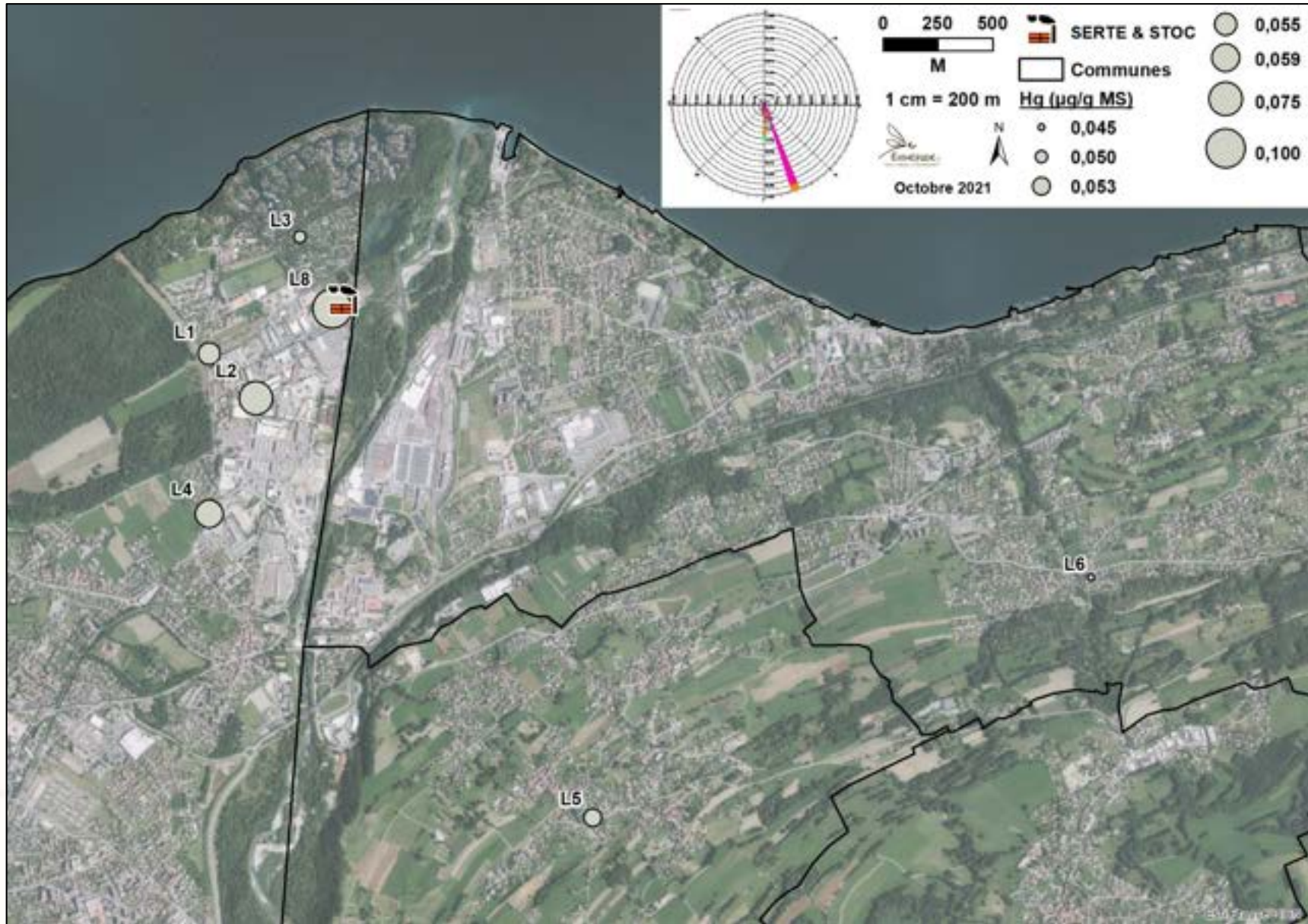


Figure 24 : Cartographie du mercure.

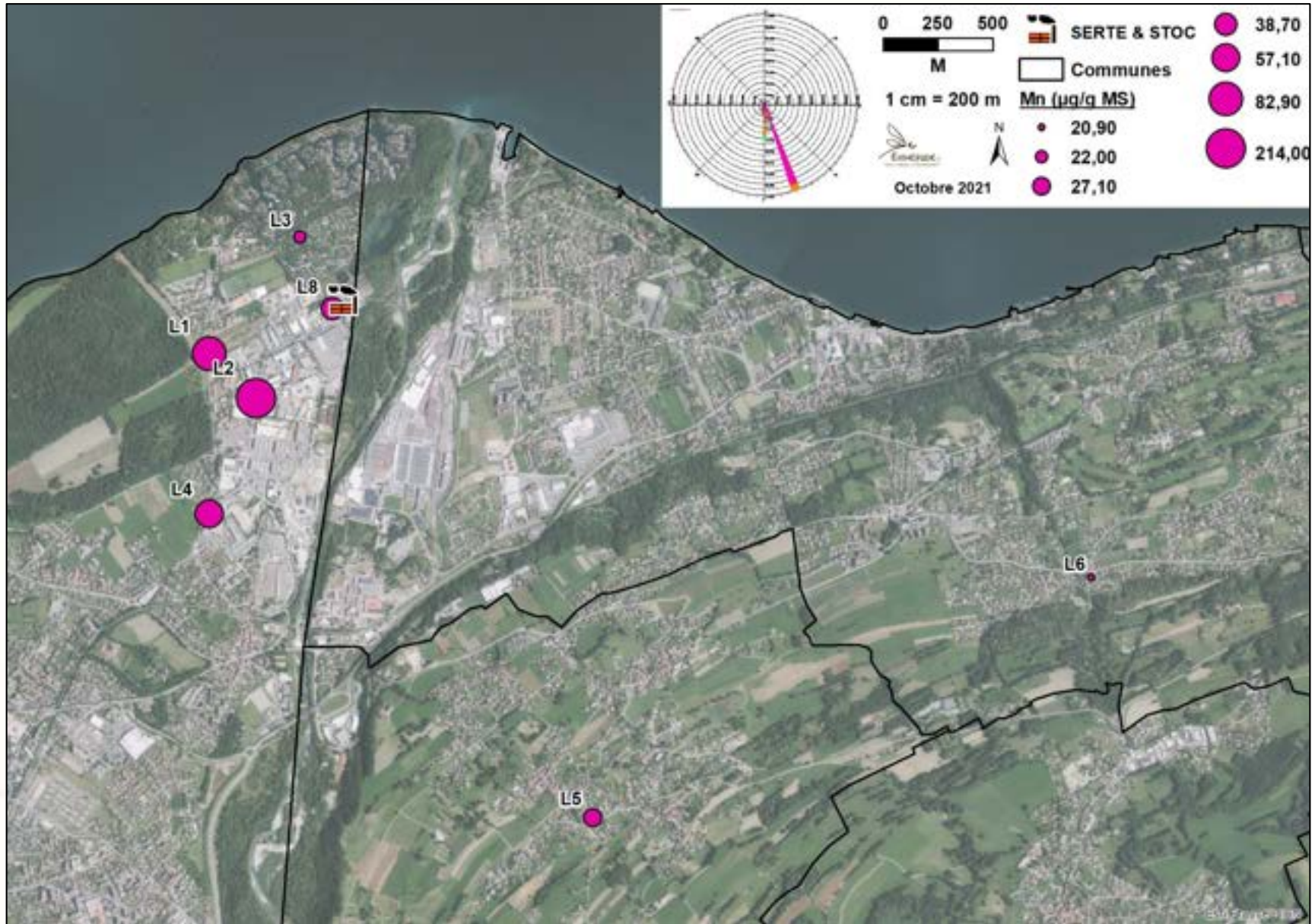


Figure 25 : Cartographie du manganèse.

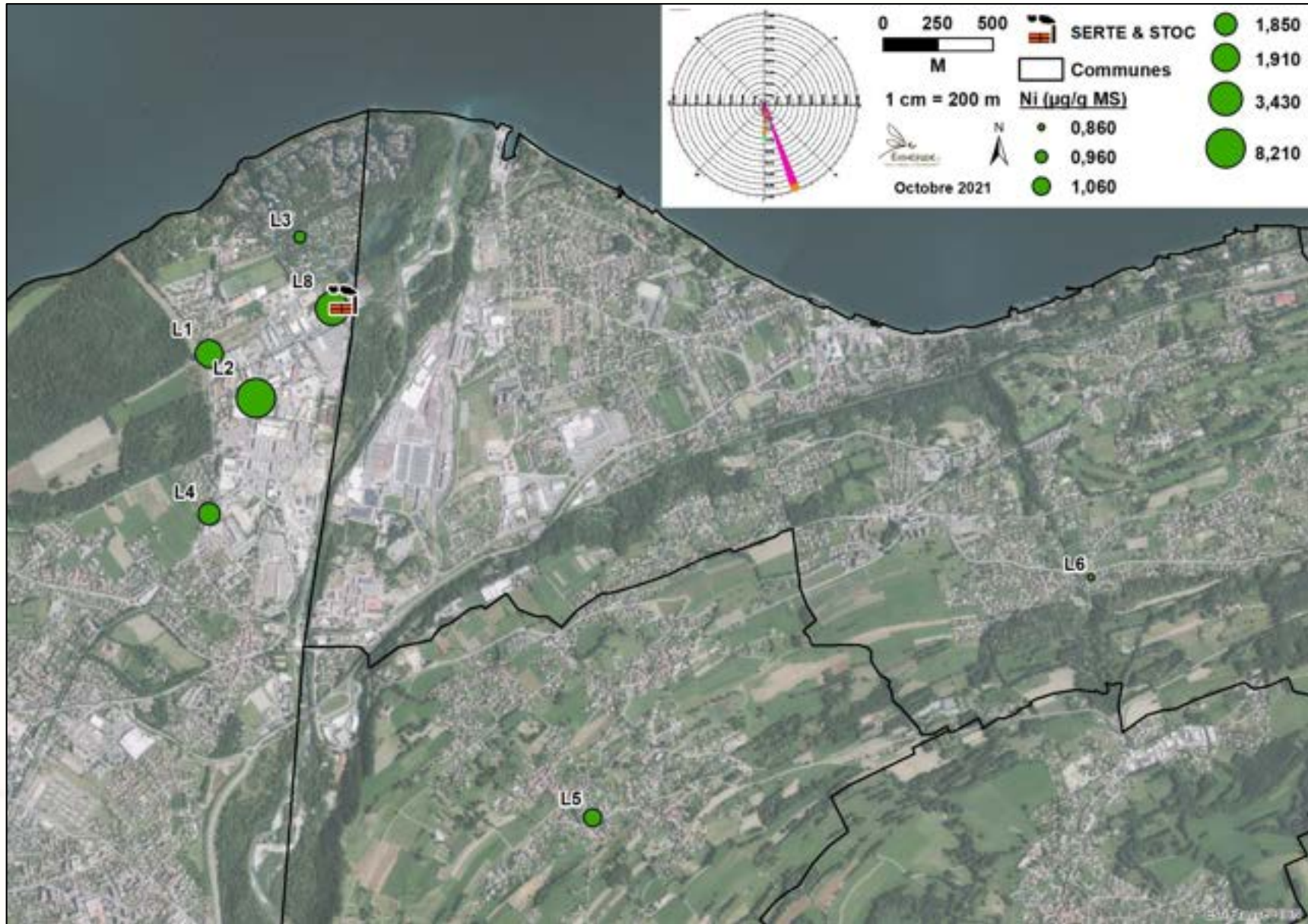


Figure 26 : Cartographie du nickel.

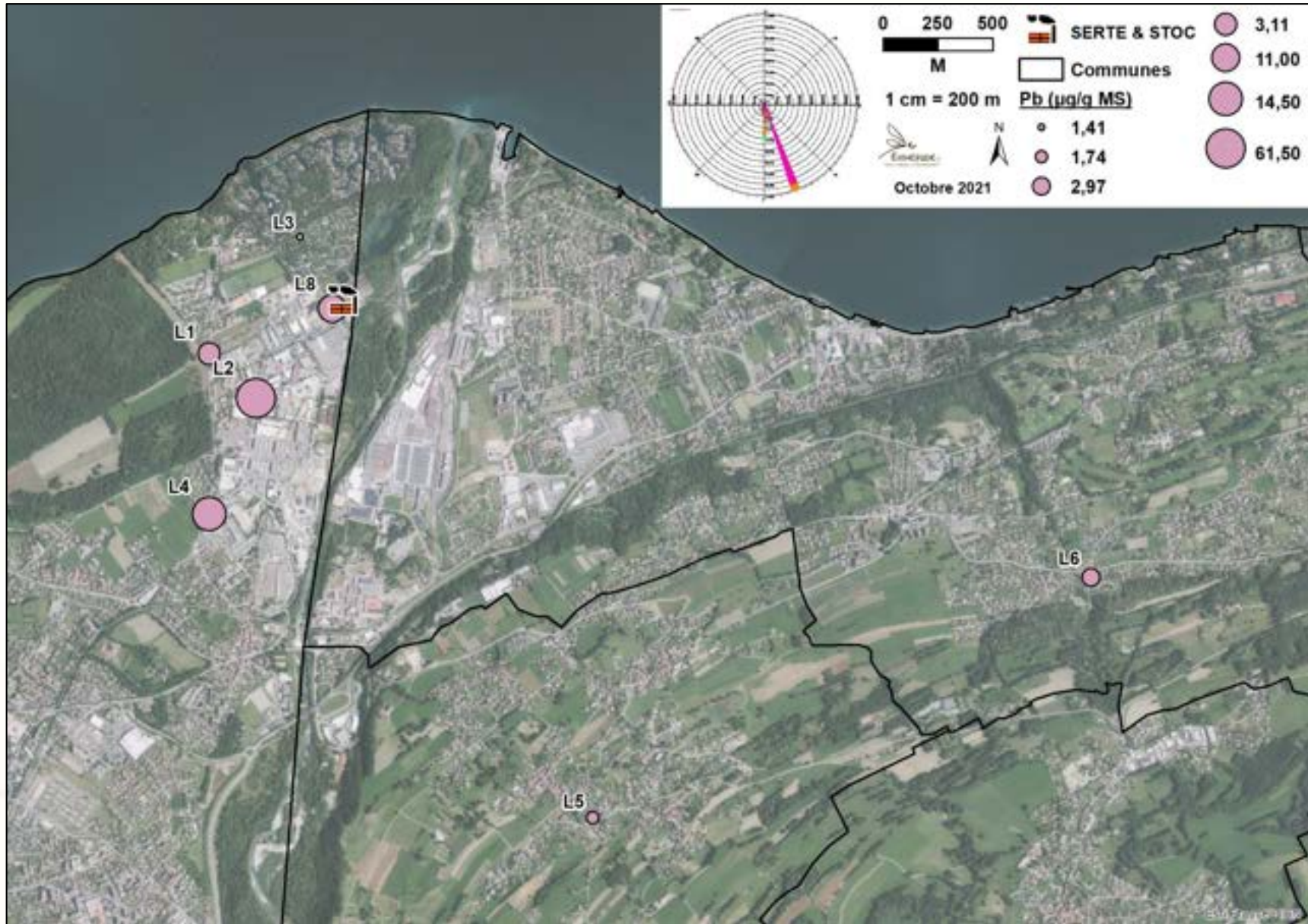


Figure 27 : Cartographie du plomb.

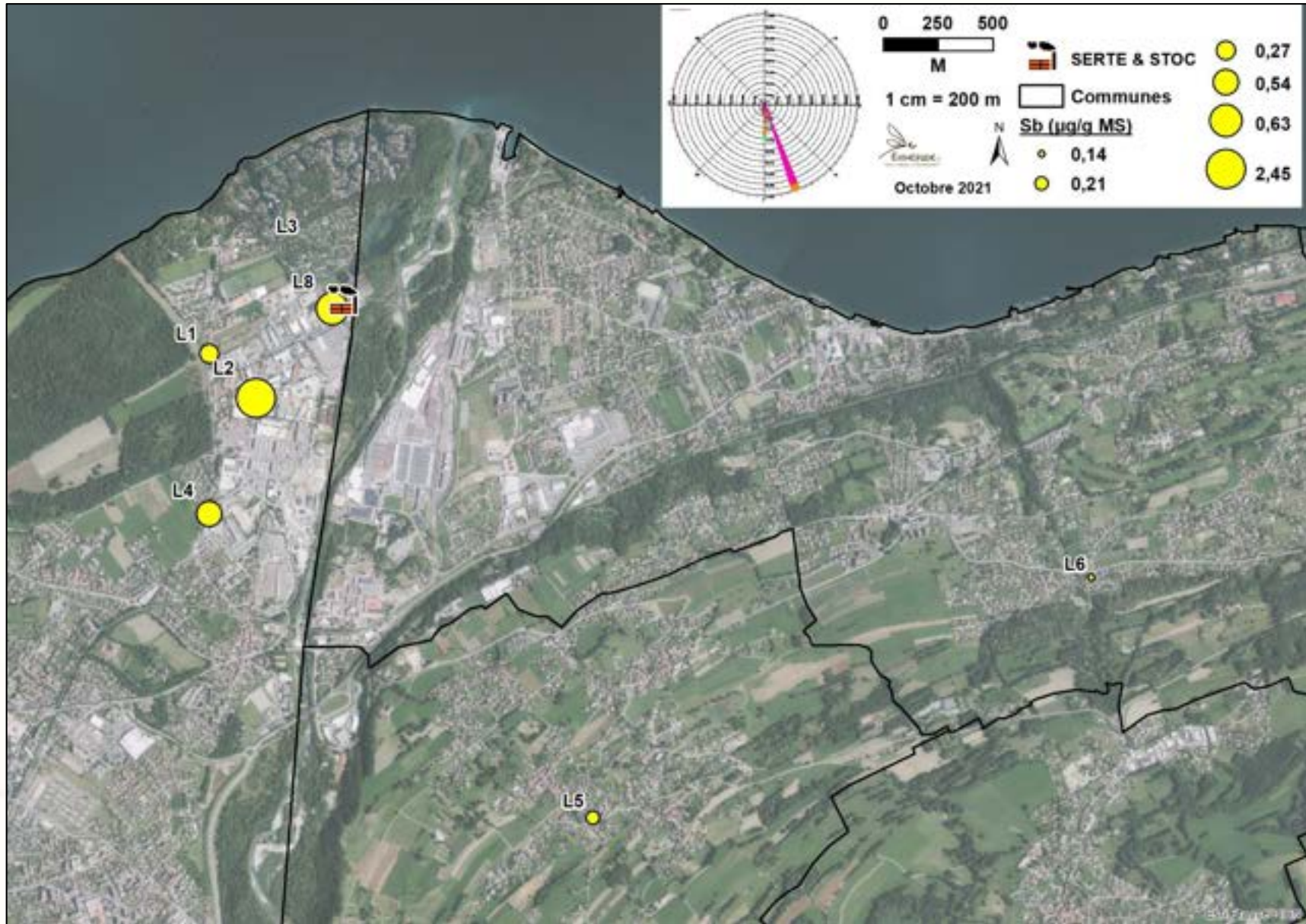


Figure 28 : Cartographie de l'antimoine.

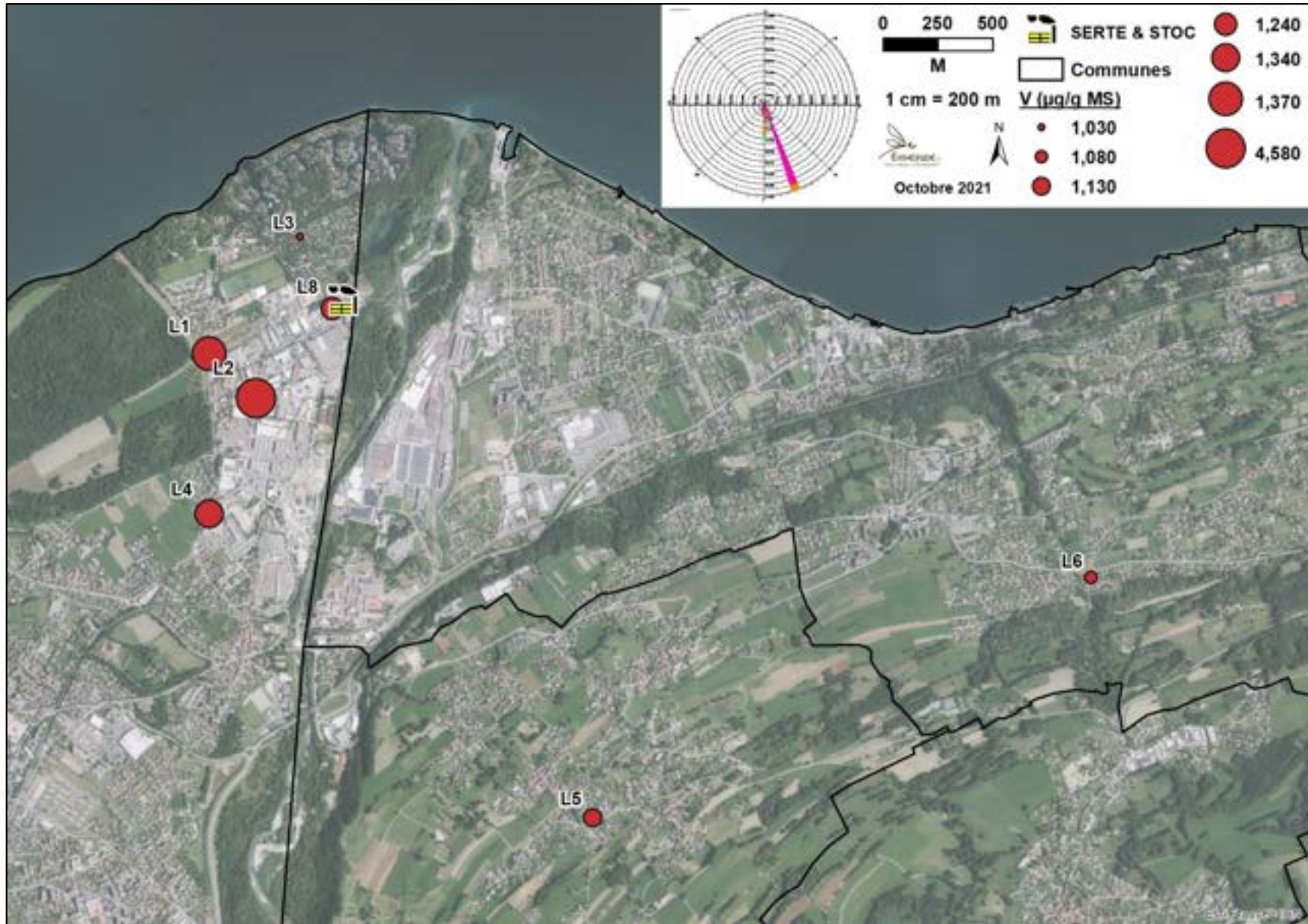


Figure 29 : Cartographie du vanadium.

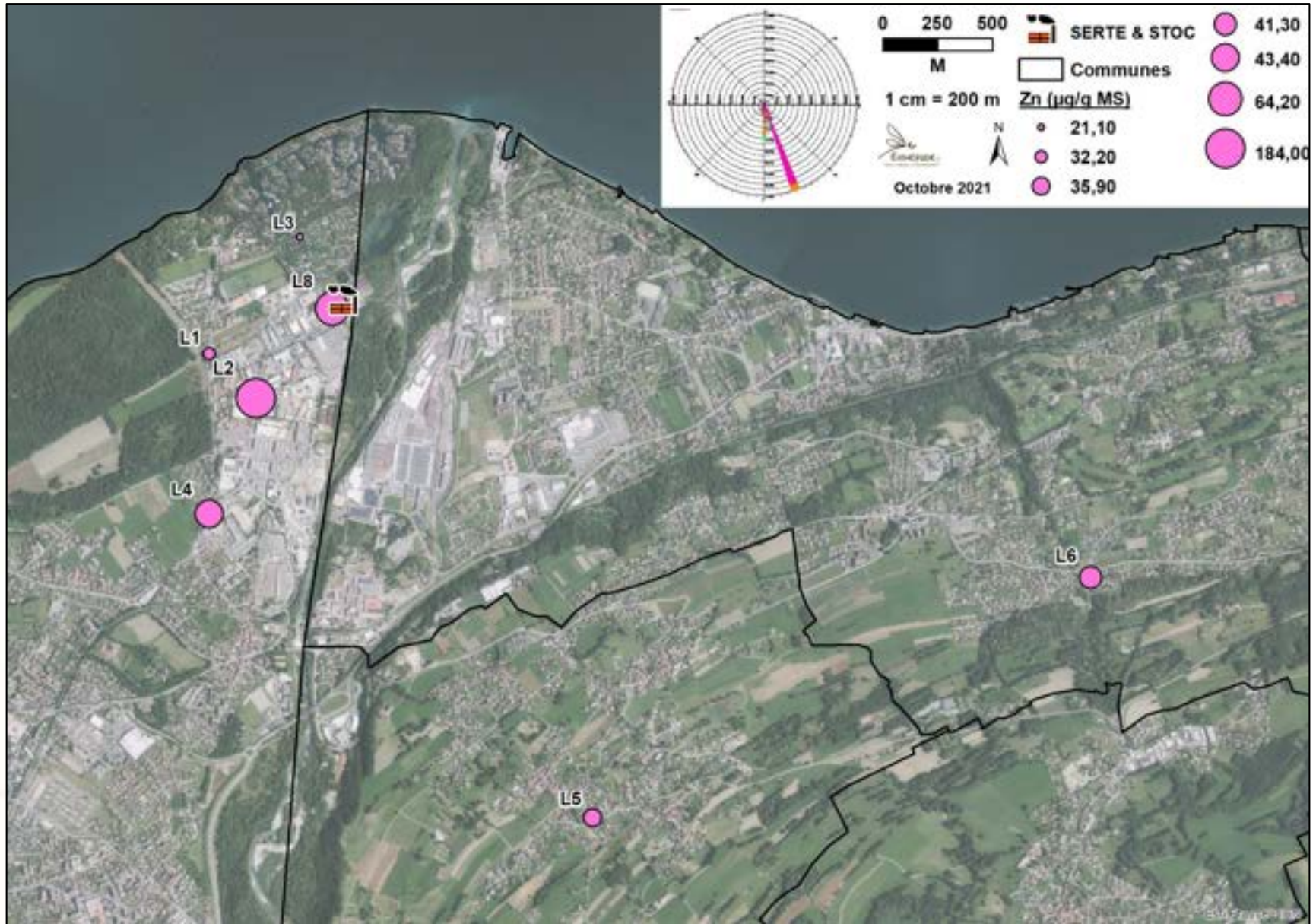


Figure 30 : Cartographie du zinc.

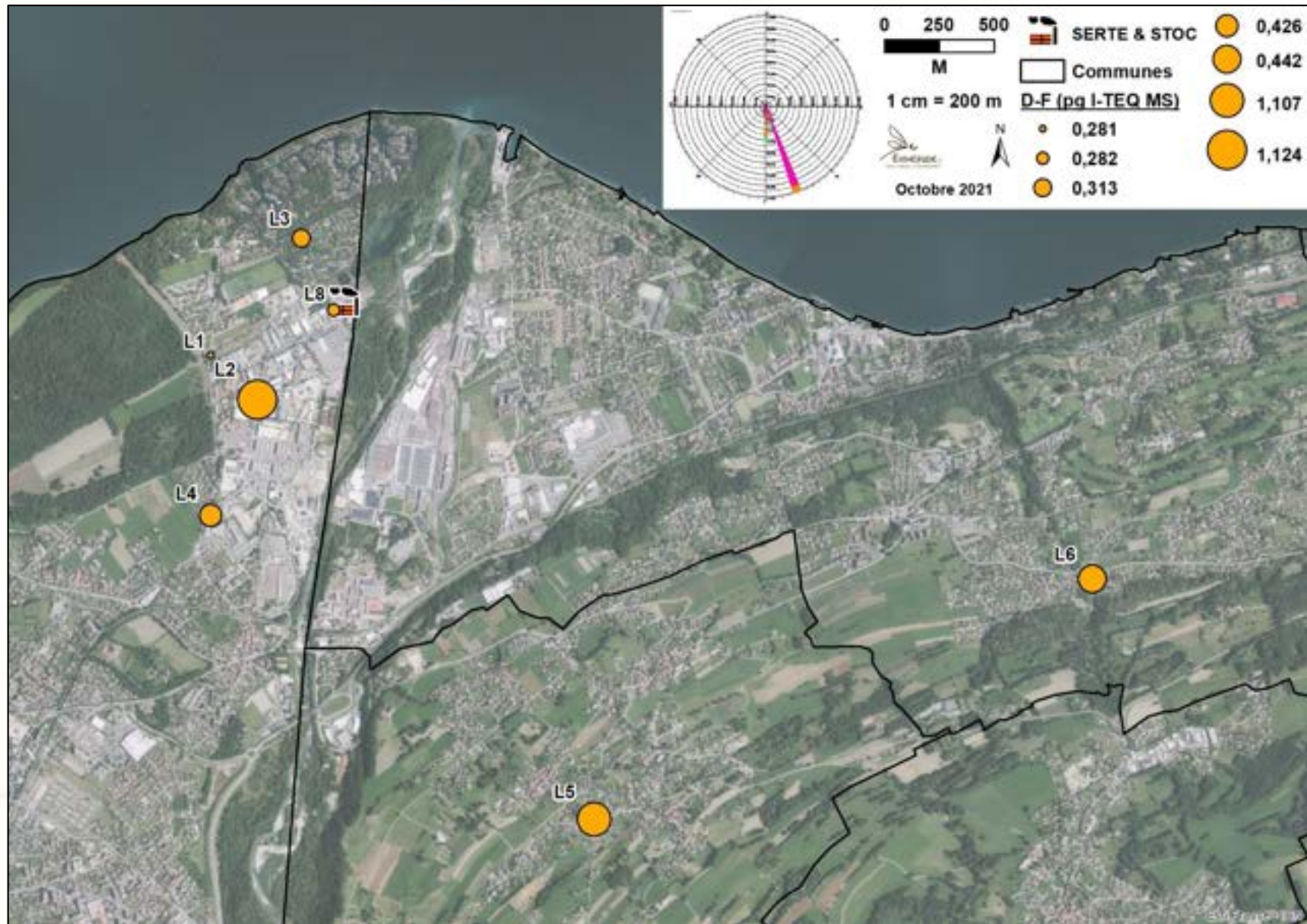


Figure 31 : Cartographie des dioxines-furanes.

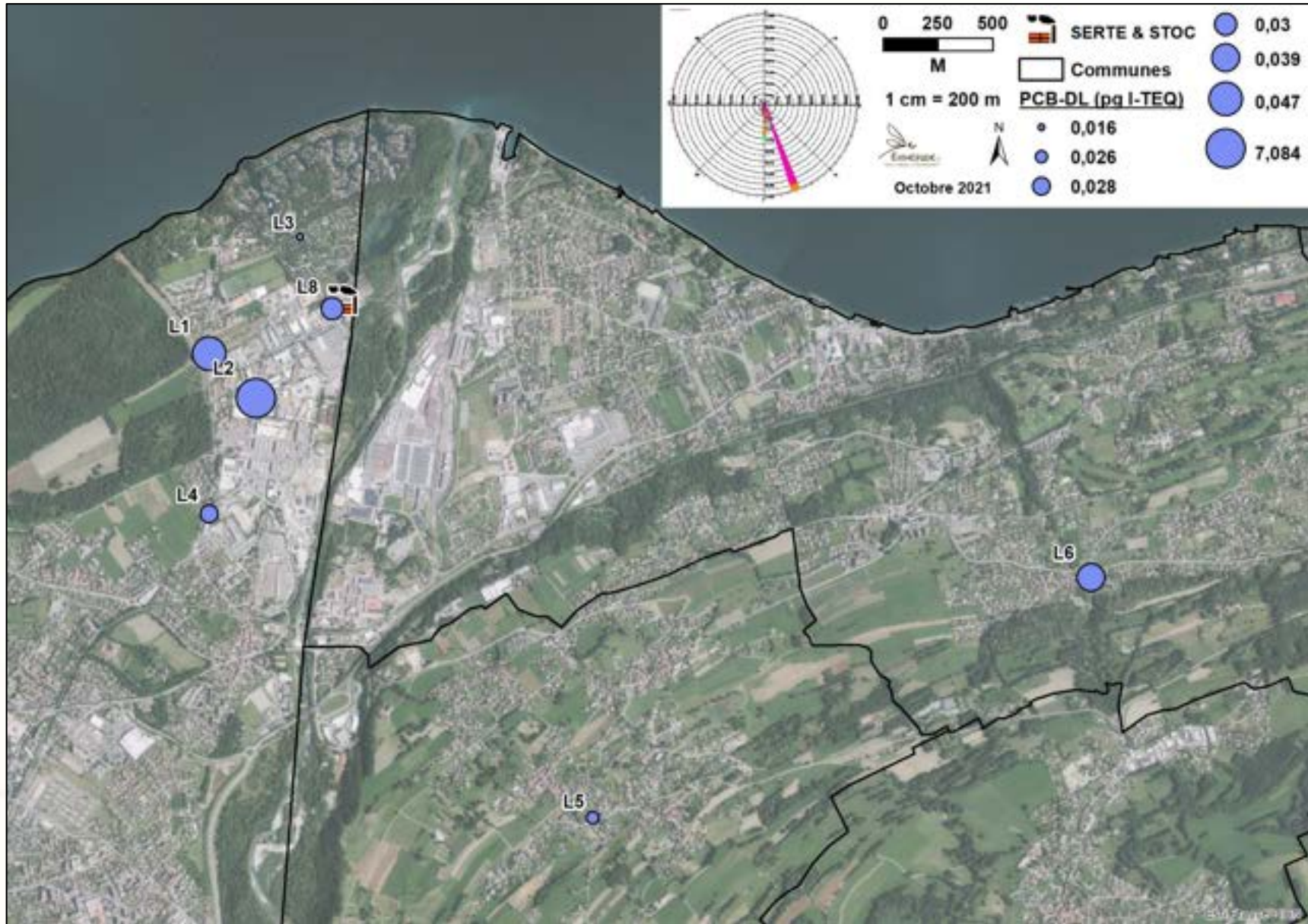


Figure 32 : Cartographie des PCB-DL.

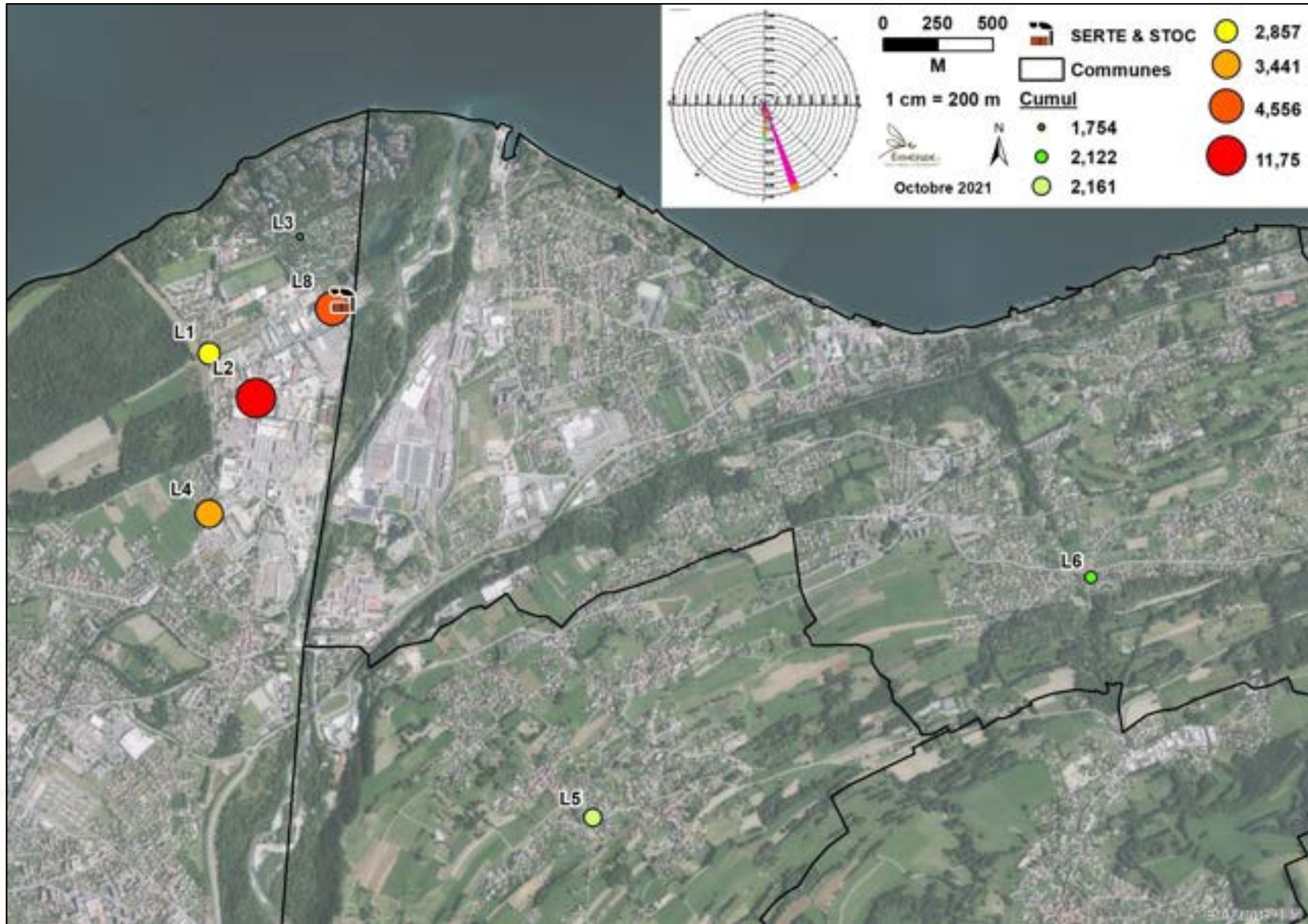


Figure 33 : Cartographie de la participation métallique.