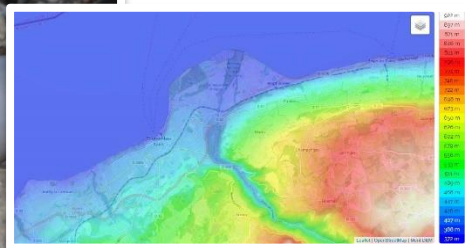


RAPPORT D'ÉTUDE

Bioaccumulation lichénique Caractérisation des retombées atmosphériques autour du SERTE & STOC

Thonon-les-Bains (74)



BUREAU D'ÉTUDES ENVIRONNEMENTALES

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.	Réalisation des transplants.....	2
3.	Campagne 2022	4
3.1	Zone d'étude	4
3.2	Relief.....	6
3.3	Caractérisation de l'influence du vent.....	8
3.4	Sites de prélèvements	10
3.4.1	L1 – Jardins familiaux	11
3.4.2	L2 – Zone industrielle de Vongy.....	11
3.4.3	L3 – Camping du Léman	12
3.4.4	L4 – Les Epinanches	12
3.4.5	L5 – Jardin Lacroix.....	13
3.4.6	L6 – Jardin Delalle	13
3.4.7	L8 – SERTE & STOC.....	14
4.	Résultats et interprétation	15
4.1	Métaux lourds	15
4.1.1	Résultats des dosages	15
4.1.2	Référence à la norme.....	17
4.1.3	Comparaisons temporelles.....	19
4.2	Dioxines-furanes.....	23
4.2.1	Résultats des dosages	23
4.2.2	Référence à la norme.....	24
4.2.3	Comparaisons temporelles.....	25
4.3	PCB de type dioxines	26
4.3.1	Résultats des dosages	26
4.3.2	Comparaisons aux valeurs de naturalité.....	28
4.3.3	Comparaisons temporelles.....	28
5.	Organiques totaux.....	30
6.	Conclusions et perspectives	30
7.	Les textes réglementaires.....	32
7.1	Les textes nationaux	32
7.2	Le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires (SRADDET) en AURA.....	32
8.	Méthodologie	33
8.1	Principe de la bioaccumulation lichénique	33
8.2	Éléments analysés	34

8.2.1	Les métaux lourds	34
8.2.2	Les dioxines-furanes	35
8.2.3	Les PCB-DL.....	35
8.2.4	Synthèse des LQ.....	36
8.2.5	Références pour la naturalité.....	37
9.	Atlas cartographique.....	38

Sommaire des figures

Figure 1	: Localisation du site de prélèvements des transplants.....	2
Figure 2	: Localisation du secteur d'étude.	4
Figure 3	: Relief de la zone d'étude (vue 1).	6
Figure 4	: Relief de la zone d'étude (vue 2).	7
Figure 5	: Rose des vents trimestrielles.	8
Figure 6	: Rose des vents, échéances pluvieuses.....	9
Figure 7	: Stats min-max pour les métaux lourds.	15
Figure 8	: Concentrations des métaux dosés dans les lichens.....	16
Figure 9	: Participation métallique.....	17
Figure 10	: Tendances évolutives 2014-2022 par site.....	19
Figure 11	: Evolutions temporelles (2014-2022) décomposées par métal.	22
Figure 12	: Résultats des dosages de dioxines-furanes.....	23
Figure 13	: Histogrammes des congénères des dioxines-furanes.	24
Figure 14	: Comparaisons temporelles (2014-2022) des concentrations massiques et I-TEQ des dioxines-furanes.	25
Figure 16	: Résultats des dosages de PCB-DL.	26
Figure 17	: Cumul massique des concentrations de PCB-DL.	27
Figure 18	: Répartition des congénères de PCB-DL.	27
Figure 19	: Comparaisons temporelles (2014-2022) des concentrations massiques et I-TEQ des PCB-DL.	29
Figure 20	: Cartographie de l'arsenic.	38
Figure 21	: Cartographie du cadmium.	39
Figure 22	: Cartographie du cobalt.	40
Figure 23	: Cartographie du chrome.	41
Figure 24	: Cartographie du cuivre.	42
Figure 25	: Cartographie du mercure.....	43
Figure 26	: Cartographie du manganèse.....	44
Figure 27	: Cartographie du nickel.....	45
Figure 28	: Cartographie du plomb.....	46
Figure 29	: Cartographie de l'antimoine.	47
Figure 30	: Cartographie du vanadium.....	48
Figure 31	: Cartographie du zinc.....	49
Figure 32	: Cartographie des dioxines-furanes.....	50
Figure 33	: Cartographie des PCB-DL.	51
Figure 34	: Cartographie de la participation métallique.	52

Sommaire des photos

Photo 1 : Vue du STOC depuis le SERTE.	1
Photo 2 : Ambiance autour du site de prélèvements.	3
Photo 3 : Prélèvements sur L1.	11
Photo 4 : Prélèvements sur L2.	11
Photo 5 : Prélèvements sur L3.	12
Photo 6 : Prélèvements sur L4.	12
Photo 7 : Prélèvements sur L5.	13
Photo 8 : Prélèvements sur L6.	13
Photo 9 : Prélèvements sur L8.	14
Photo 11 : Prélèvements de terrain.	33

Sommaire des tableaux

Tableau 1 : Industries déclarées par le Registre des Emissions Polluantes.	5
Tableau 2 : Impact des vents dominants selon les sites.	9
Tableau 3 : Informations sur les sites de prélèvements.	10
Tableau 4 : Caractéristiques des sites.	10
Tableau 5 : Résultats des dosages de métaux lourds.	15
Tableau 6 : Valeurs bibliographiques et actuelles pour les métaux lourds.	18
Tableau 7 : Résultats métaux vis-à-vis des centiles-sites témoins.	18
Tableau 8 : Résultats métaux vis-à-vis des centiles-sites influencés.	18
Tableau 9 : Résultats des dosages de dioxines-furanes.	23
Tableau 10 : Valeurs bibliographiques et actuelles pour les dioxines-furanes.	24
Tableau 11 : Résultat des dosages de PCB-DL.	26
Tableau 12 : Naturalité de chaque site vis-à-vis des concentrations en PCB-DL.	28
Tableau 13 : Totaux des composés organiques.	30
Tableau 14 : Synthèse des LQ.	36
Tableau 15 : Correspondance code couleur/naturalité.	37

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 2022.

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. Réalisation des transplants

En 2021, il n'y avait plus assez de lichens sur le point L2 pour permettre un suivi. Il a été décidé de réaliser des transplants sur l'ensemble de la zone d'étude. La méthode du transplant consiste à prélever dans un milieu considéré comme témoin, des branchettes sur lesquelles pousse naturellement une espèce de lichen identique des sites initiaux de prélèvement de l'étude.

Après étude des cartes d'ATMO Auvergne-Rhône-Alpes, la région du Trièves dans le sud de l'Isère apparaît tout à fait pertinente comme site de prélèvement de transplants au vu des faibles quantités de polluants présents sur place, notamment les PM.

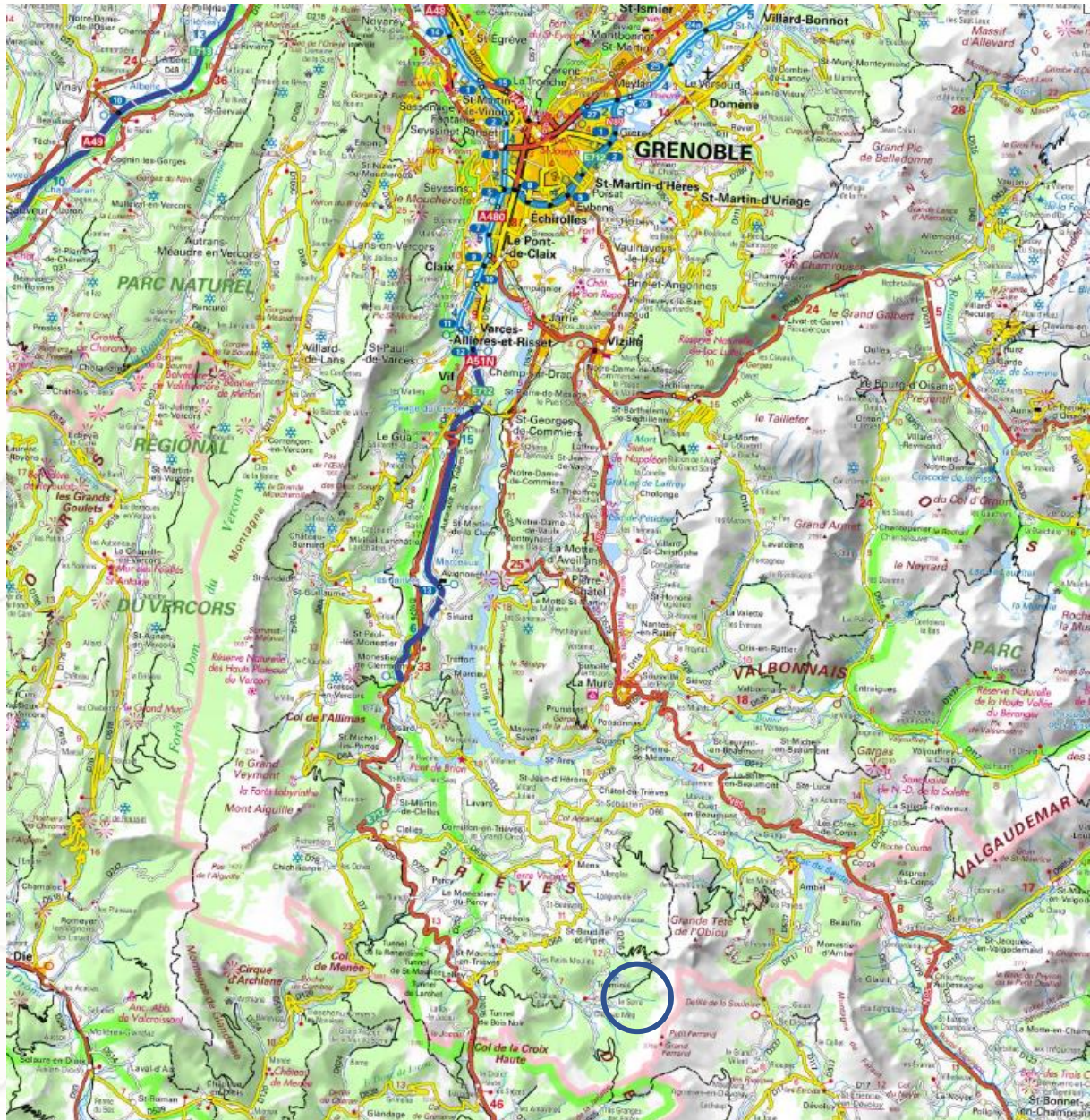


Figure 1 : Localisation du site de prélèvements des transplants.

Les lichens ont été récoltés le 10 août 2022 et ont été installés le 12 août sur Thonon et alentours, sur les sites de prélèvements des campagnes précédentes.



Photo 2 : Ambiance autour du site de prélèvements.

Les transplants sont restés 6 mois en place afin de recevoir suffisamment de dépôts atmosphériques pour que les analyses soient représentatives de la qualité de l'air ambiante. Ils ont ainsi été récoltés le 10 février 2023.

3. Campagne 2022

3.1 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 ne sont pas strictement identiques à la campagne 2021 (et antérieures). A la date de pose des transplants, le propriétaire de la maison au point L6 était en congés – les transplants ont été déposés dans le jardin d'une maison à 225 mètres à l'est (même route). Ce décalage n'aura pas eu d'incidence sur les résultats. Pour le site L4, les prélèvements avaient historiquement eu lieu à distance du lieu de pose des jauges Owen, sur des arbres riches en lichens. L'installation de transplants permettant de s'affranchir de tels arbres, il fut décidé d'installer les transplants, au plus près des jauges, soit à 215 m au nord-est par rapport à 2021.

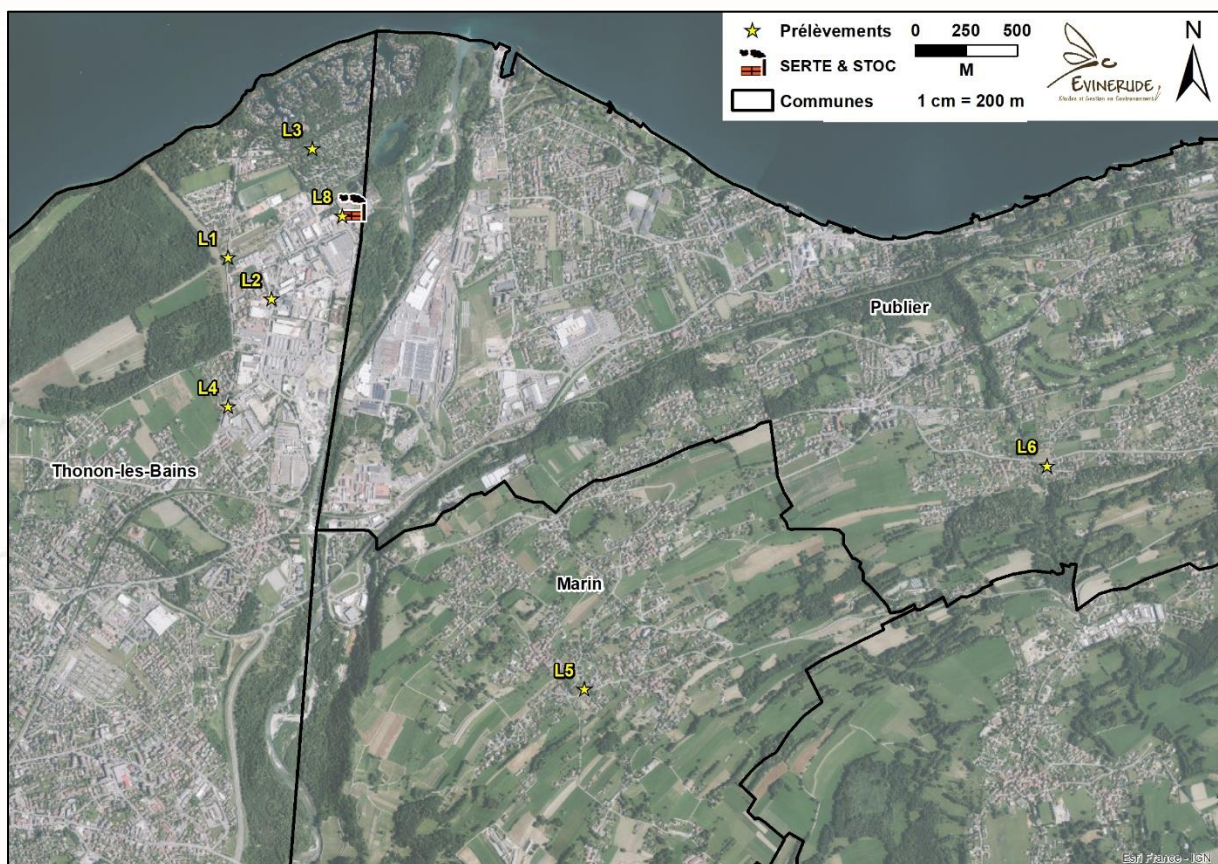


Figure 2 : Localisation du secteur d'étude.

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

3.2 Relief

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

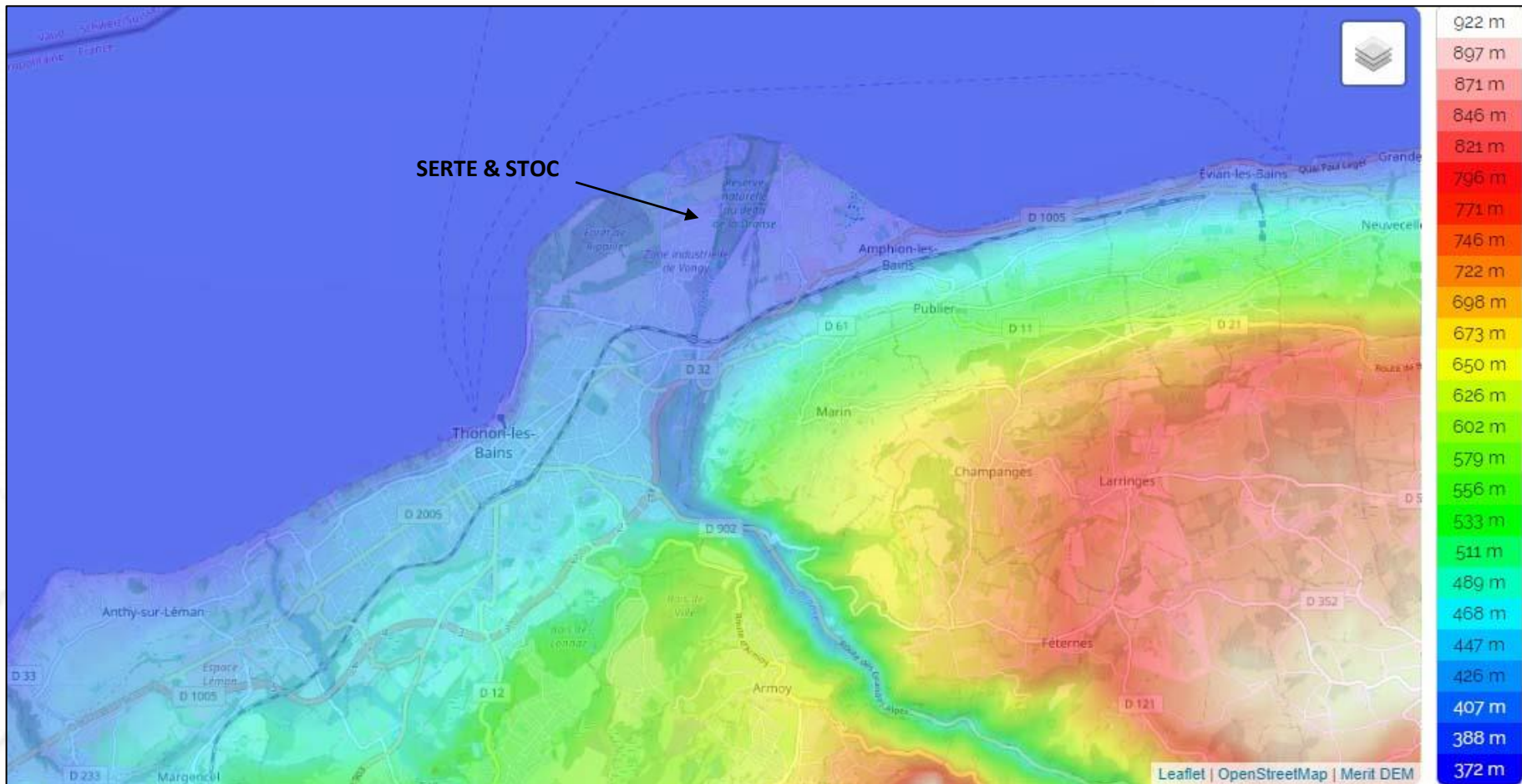


Figure 3 : Relief de la zone d'étude (vue 1).



Figure 4 : Relief de la zone d'étude (vue 2).

3.3 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 6 mois d'exposition des transplants (du vendredi 12 août 2022 au vendredi 10 février 2023 inclus).

Pour information, un jour est considéré comme pluvieux lorsqu'au moins 1 mm d'eau sont tombés (seuil Météo France). Soixante-dix jours sont concernés, du 14 août au 18 janvier inclus pour un total de 640 mm.

Les Figure 5 et Figure 6 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.

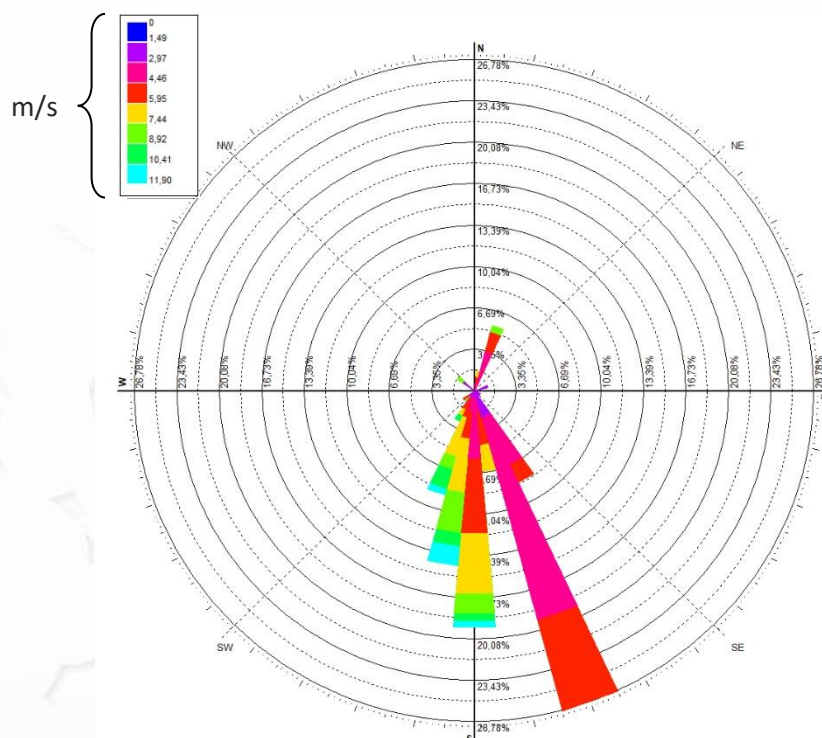


Figure 5 : Rose des vents trimestrielles.

Durant ce trimestre, les vents étaient très majoritairement en provenance du sud/sud-est (azimut de 175°), c'est donc le cadran opposé qui est le plus sous influence des usines, à savoir nord/nord-ouest.

Les jours de pluie (Figure 6), l'origine sud des vents est tout aussi marquée – la moyenne qui prend en compte à la fois les directions et les intensités donne un azimut de 184°.

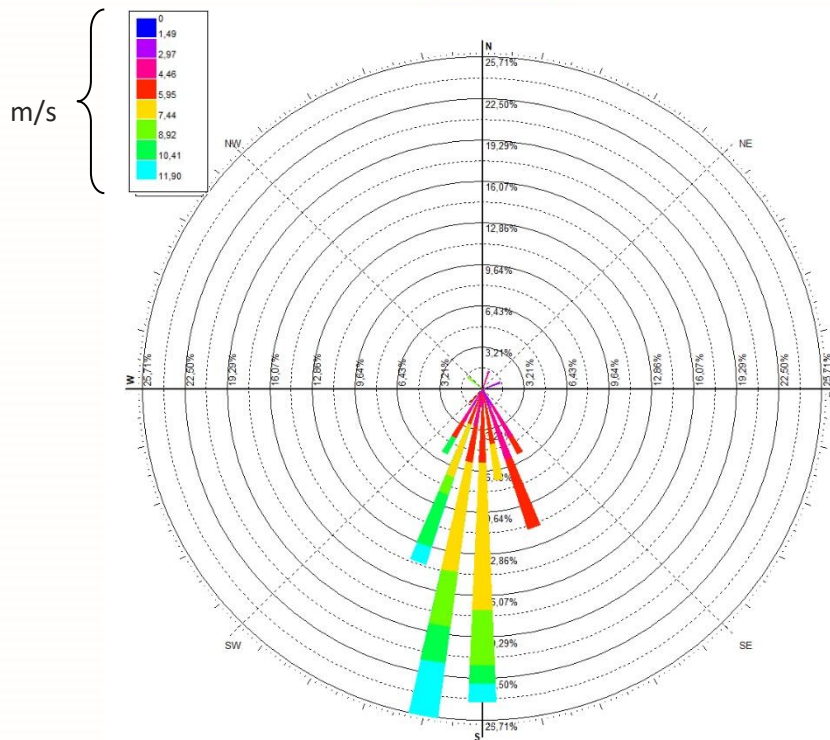


Figure 6 : Rose des vents, échéances pluvieuses.

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%	1,4%
L2	5,5%	0,0%
L3	39,9%	64,3%
L4	7,1%	1,4%
L5	0,0%	0,0%
L6	0,0%	1,4%
L8	0,0%	0,0%

Le site L3 reste celui le plus soumis aux émissions des usines durant toute la période d'exposition des transplants, y compris pendant les périodes pluvieuses. Le même constat est fait pour le site L8 qui, bien qu'au niveau du parking du SERTE, ne se trouve pas au sein d'un axe soufflant durant la phase d'exposition. Le site L6, un des témoins, est exposé aux vents de l'usine mais uniquement en période de pluie, ce qui, au vu de la distance, rend l'influence de l'usine très peu probable.

3.4 Sites de prélèvements

Tableau 3 : Informations sur les sites de prélèvements.

Site	Date	Commune	Espèce	Localisation	Précision	Remarque
L1	10/02/23	Thonon	Xp	Avenue Saint Disdille	Parking des jardins familiaux	
L2	10/02/23	Thonon	Xp	Av. des genévriers x Route des Arcouasses	Arbres du premier axe	
L3	10/02/23	Thonon	Xp	Camping du Léman	117 avenue de Saint Disdille	Arbres au centre du camping
L4	10/02/23	Thonon	Xp	Av. des genévriers x Av. Saint Disdille	Jardin privé Todesco	Déplacé au sein du jardin
L5	10/02/23	Marin	Xp	107 route du Gavot	Arbre d'ornement	
L6	10/02/23	Publier	Xp	1161 route du Pays de Gavot	Arbre d'ornement	Déplacé d'une maison à l'est
L8	10/02/23	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) est l'espèce présente sur les transplants qui a permis les analyses.

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	3883	sud-est	560
L8	147		386

3.4.1 L1 – Jardins familiaux

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



Photo 3 : Prélèvements sur L1.

3.4.2 L2 – Zone industrielle de Vongy

Installation des transplants sur les arbres de la rue des Arcouasses.

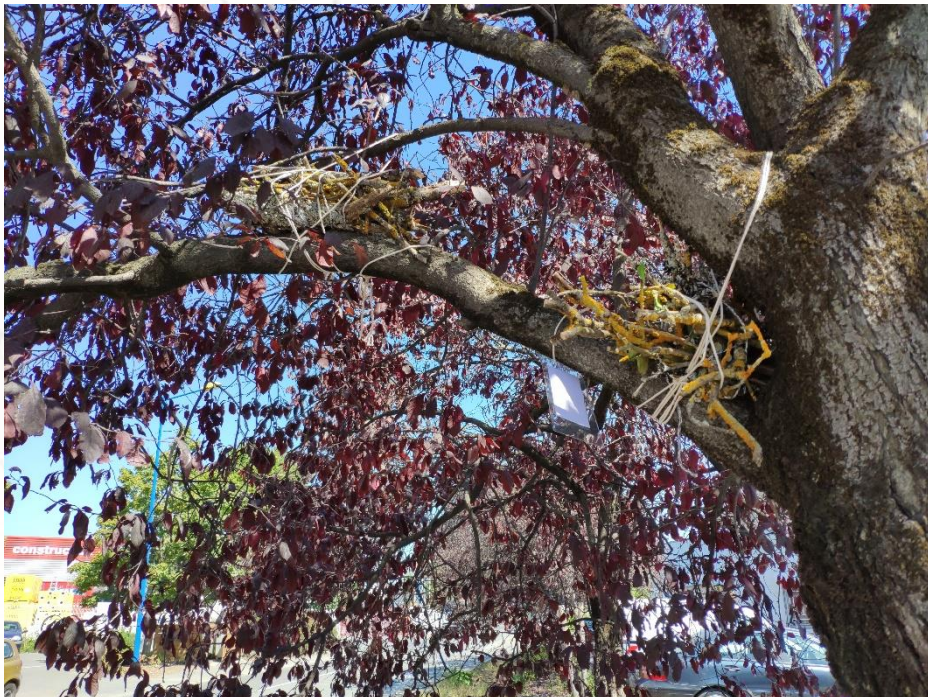


Photo 4 : Prélèvements sur L2.

3.4.3 L3 – Camping du Léman

Au sein du camping, au niveau d'un petit jardin d'agrément.



Photo 5 : Prélèvements sur L3.

3.4.4 L4 – Les Epinanches

Au sein d'un jardin privé.



Photo 6 : Prélèvements sur L4.

3.4.5 L5 – Jardin Lacroix

Arbre de jardin à l'arrière de la maison.



Photo 7 : Prélèvements sur L5.

3.4.6 L6 – Jardin Delalle

Arbres décalés à la maison d'à côté.



Photo 8 : Prélèvements sur L6.

3.4.7 L8 – SERTE & STOC

Arbres de parking au sein du SERTE.



Photo 9 : Prélèvements sur L8.

4. Résultats et interprétation

4.1 Métaux lourds

4.1.1 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	0,46	0,059	0,49	1,80	5,30	0,09	32,00	1,65	2,37	0,39	2,09	37,80
L2	0,63	0,094	0,68	3,10	11,60	0,11	51,70	2,48	5,41	0,58	2,91	58,10
L3	0,57	0,066	0,57	2,29	5,78	0,10	40,00	1,94	2,82	0,29	2,61	38,20
L4	5,86	0,055	0,49	9,67	15,60	0,09	32,20	1,66	3,32	0,66	2,24	38,20
L5	0,37	0,048	0,42	1,57	4,98	0,08	27,40	1,36	1,99	0,21	1,83	32,40
L6	0,36	0,066	0,38	1,38	28,30	0,09	30,60	1,29	2,08	0,34	1,81	34,50
L8	0,45	0,100	0,50	1,80	6,54	0,12	34,00	1,60	2,66	0,24	1,98	42,90
Moyenne	1,24	0,07	0,50	3,09	11,16	0,10	35,41	1,71	2,95	0,39	2,21	40,30
Ecart-type	2,04	0,02	0,10	2,96	8,53	0,01	8,14	0,40	1,18	0,17	0,41	8,51

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

Les minimas sont en gras et en bleu. Ils sont répartis sur les deux sites témoins, à savoir 7 sur L5 et 5 sur L6.

En reprenant l'historique des dosages (ainsi que cette campagne), le site L3 reste celui ayant cumulé le plus de valeurs minimales (40 au total, principalement pour l'arsenic, le chrome, l'antimoine et le zinc). Il est suivi par le site L6 avec 30 valeurs, notamment avec le manganèse et le plomb.

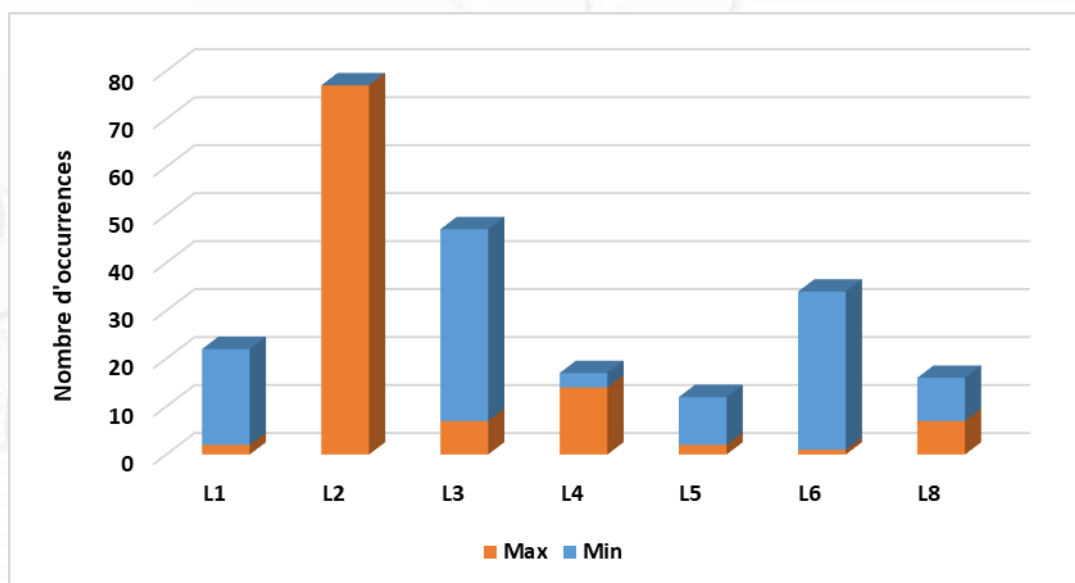


Figure 7 : Stats min-max pour les métaux lourds.

Les maximas apparaissent en orange et se retrouvent sur 4 sites : 6 valeurs sur L2, 3 sur L4, 2 sur L8 et 1 sur L6. Historiquement, le site L2 a cumulé 77 valeurs maximales – le nickel a toujours connu ses maximas sur ce point, le mercure est le seul métal à avoir eu plus de maximas sur L3 et L8.

L'analyse des ratios C_{max}/C_{min} est de 16,28 pour l'arsenic dû à une concentration bien plus importante sur le site L4. Le ratio est de 7,00 pour le chrome et de 5,68 pour le cuivre.

Le graphique suivant 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 $L5 < L1 < L8 < L3 < L6 < L4 < L2$;
- le site L4 se démarque au vu de la concentration en arsenic ;
- aucun lien ne peut être établi entre l'influence des vents dominants, la distance aux usines et la déposition métallique – ce qui est très net avec l'influence vis-à-vis de L3.

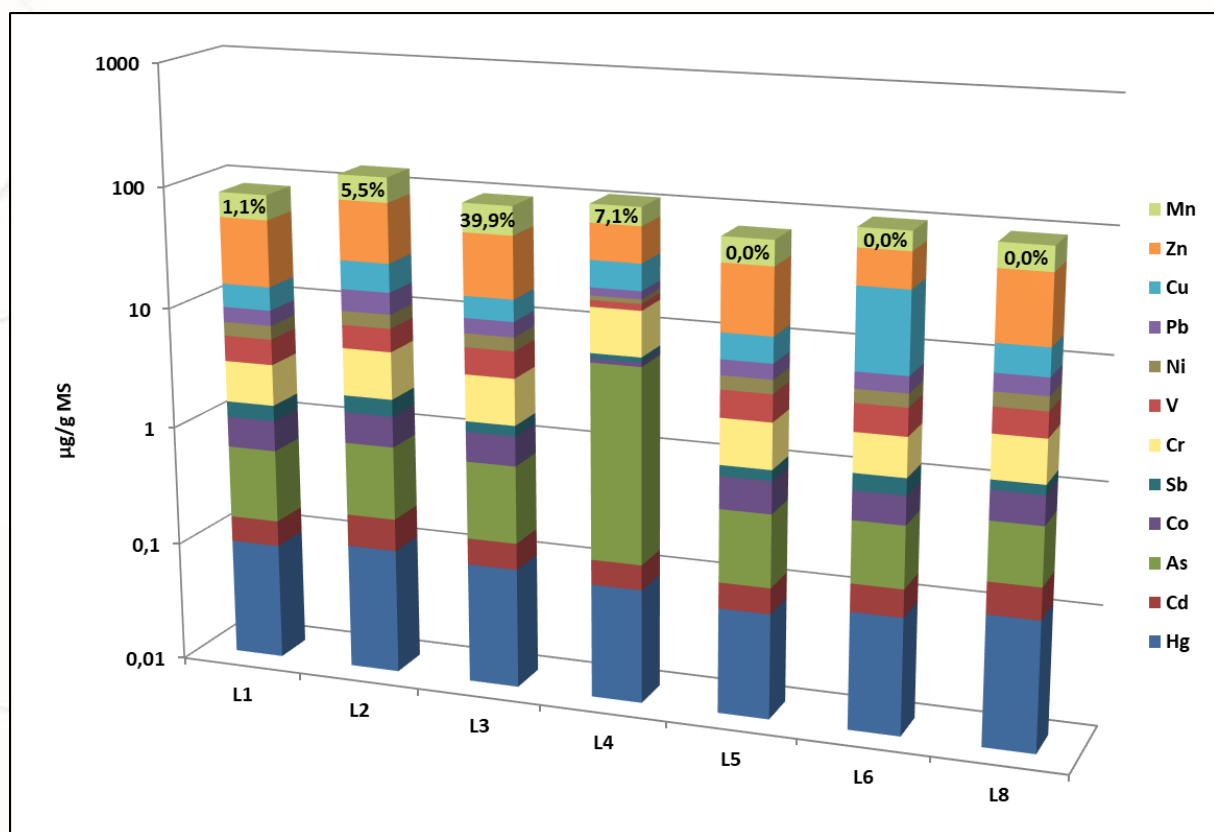


Figure 8 : Concentrations des métaux dosés dans les lichens.

Au vu de ces résultats, chaque site semble influencé en local plus que par une source majoritaire / prépondérante (ici le SERTE et le STOC) dont l'impact porterait sur une grande surface.

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 9 et Figure 33.

Là encore, les résultats apparaissent contre-intuitifs si l'on considère une unique source d'émissions. Notamment avec les résultats pour L2 et L4 dont la participation totale respective est très proche malgré une distance croissante à l'usine.

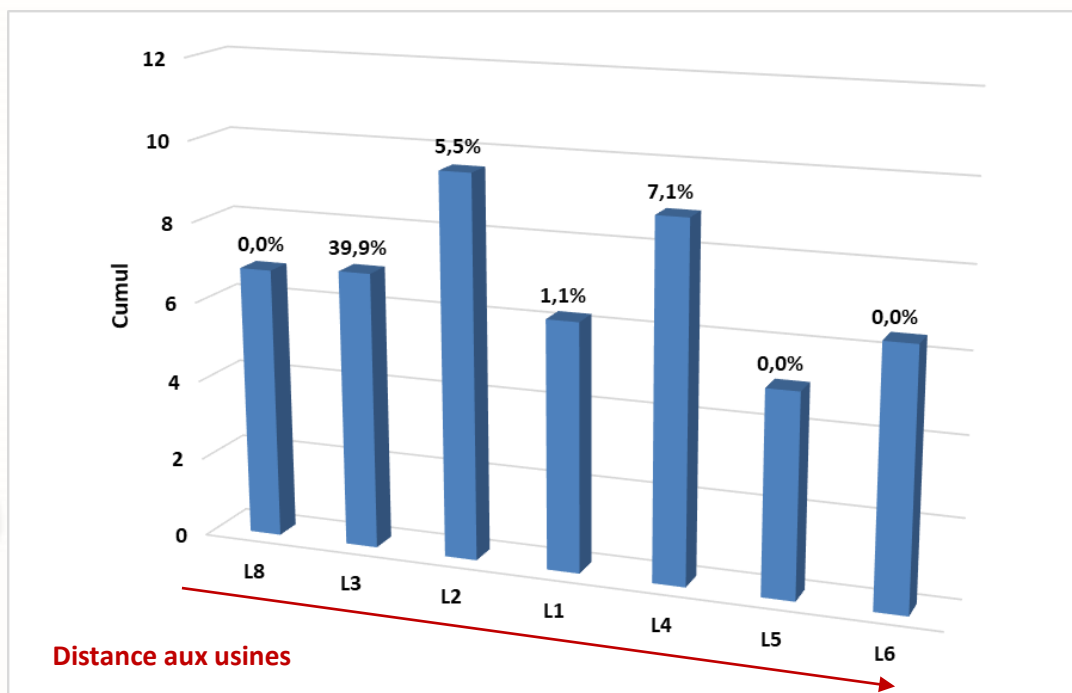


Figure 9 : Participation métallique.

4.1.2 Référence à la norme

En juin 2020, l'AFNOR a publié la norme NF-X-43.910 « Lignes directrices pour l'établissement de valeurs repères en biosurveillance de l'air » qui demande de compiler les valeurs bibliographiques (expertises réalisées par Evinerude) sur les 4 dernières années uniquement. Le Tableau 6 présente de gauche à droite :

- Les données sur les sites témoins, moins les valeurs les 10 % les plus basses et plus hautes ;
- Les données sur l'ensemble des sites sous influence d'un émetteur ;
- Les données sur les sites de l'étude en cours.

Les Tableau 7 et Tableau 8 reprennent les valeurs des concentrations de cette campagne et les comparent aux centiles 10 et 90 de la bibliographie : si la valeur est inférieure au centile 10, elle est en vert ; si elle est supérieure au centile 90 elle est en violet.

La moyenne de l'ensemble des sites de cette campagne dépasse le centile 90 des sites témoins pour l'arsenic, le cobalt, le chrome et le vanadium.

Hormis le point L5, tous les sites ont au moins une valeur supérieure au centile 90 des sites témoins (données biblio). Seuls les points L4 et L6 ont une valeur supérieure au centile 90 des sites sous influence ; les métaux concernés sont l'arsenic et le chrome pour L4, le cuivre pour L6.

Tableau 6 : Valeurs bibliographiques et actuelles pour les métaux lourds.

Métaux	Valeurs repères Evinerude centile 10 - centile 90		Valeurs locales Moyenne (min - max)
	Sites témoins	Sites influencés	Tous sites confondus
As	0,27 - 0,82	0,28 - 1,03	1,24 (0,36 - 5,86)
Cd	0,06 - 0,15	0,05 - 0,4	0,07 (0,05 - 0,1)
Co	0,18 - 0,47	0,22 - 0,83	0,5 (0,38 - 0,68)
Cr	0,95 - 2,71	1,32 - 6,03	3,09 (1,38 - 9,67)
Cu	4,2 - 13,19	5,7 - 26,11	11,16 (4,98 - 28,3)
Hg	0,04 - 0,1	0,05 - 0,15	0,1 (0,08 - 0,12)
Mn	21,63 - 55,98	20,84 - 95,64	35,41 (27,4 - 51,7)
Ni	0,76 - 1,76	0,81 - 3,07	1,71 (1,29 - 2,48)
Pb	1,13 - 4,61	1,55 - 14,85	2,95 (1,99 - 5,41)
Sb	0,16 - 0,46	0,23 - 1,66	0,39 (0,21 - 0,66)
V	0,93 - 2,09	0,87 - 3,23	2,21 (1,81 - 2,91)
Zn	22,84 - 51,36	27,7 - 125,29	40,3 (32,4 - 58,1)

Tableau 7 : Résultats métaux vis-à-vis des centiles-sites témoins.

	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L08
As	0,46	0,63	0,57	5,86	0,37	0,36	0,45
Cd	0,059	0,094	0,066	0,055	0,048	0,066	0,1
Co	0,49	0,68	0,57	0,49	0,42	0,38	0,5
Cr	1,8	3,1	2,29	9,67	1,57	1,38	1,8
Cu	5,3	11,6	5,78	15,6	4,98	28,3	6,54
Hg	0,093	0,11	0,1	0,089	0,075	0,094	0,12
Mn	32	51,7	40	32,2	27,4	30,6	34
Ni	1,65	2,48	1,94	1,66	1,36	1,29	1,6
Pb	2,37	5,41	2,82	3,32	1,99	2,08	2,66
Sb	0,39	0,58	0,29	0,66	0,21	0,34	0,24
V	2,09	2,91	2,61	2,24	1,83	1,81	1,98
Zn	37,8	58,1	38,2	38,2	32,4	34,5	42,9

Tableau 8 : Résultats métaux vis-à-vis des centiles-sites influencés.

	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L08
As	0,46	0,63	0,57	5,86	0,37	0,36	0,45
Cd	0,059	0,094	0,066	0,055	0,048	0,066	0,1
Co	0,49	0,68	0,57	0,49	0,42	0,38	0,5
Cr	1,8	3,1	2,29	9,67	1,57	1,38	1,8
Cu	5,3	11,6	5,78	15,6	4,98	28,3	6,54
Hg	0,093	0,11	0,1	0,089	0,075	0,094	0,12
Mn	32	51,7	40	32,2	27,4	30,6	34
Ni	1,65	2,48	1,94	1,66	1,36	1,29	1,6
Pb	2,37	5,41	2,82	3,32	1,99	2,08	2,66
Sb	0,39	0,58	0,29	0,66	0,21	0,34	0,24
V	2,09	2,91	2,61	2,24	1,83	1,81	1,98
Zn	37,8	58,1	38,2	38,2	32,4	34,5	42,9

4.1.3 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.

Un pic apparaît pour l'arsenic sur L4, avec une augmentation de 1264 % entre 2021 et 2022. Mais également pour le chrome sur ce même point (+ 242 %). Les principales autres augmentations concernent 2 points : L3 (+ 171 % pour le cobalt, + 153 % pour le vanadium, 102 % pour le nickel et 100 % pour le plomb) et L6 (143 % pour l'antimoine et 109 % pour le mercure).

Beaucoup de métaux ont vu leurs concentrations chuter, principalement sur L2. Nous pouvons noter - 91 % (plomb), - 83,2 % (cuivre), - 76 % (antimoine et manganèse), - 73 % (chrome), -69 % (nickel et cadmium). Notons également - 77 % pour le plomb sur L4 et - 76 % pour ce même métal sur L8.

Il est important de rappeler toutefois que pour cette campagne, les éléments ont été dosés sur des lichens transplantés et qui n'ont été exposés que durant une période de 6 mois. Aussi, les diminutions peuvent en partie s'expliquer ainsi. Ce qui n'est pas le cas pour les augmentations qui sont clairement représentatives du milieu ambiant : sur L4, l'arsenic a déjà connu historiquement deux autres pics importants (2016 et 2020).

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.

Les métaux ont principalement baissé (en tendance) sur L4 et notamment, le cuivre montrant la baisse la plus notable sur ces deux points. Cuivre, nickel et plomb sont les 3 métaux à avoir diminué sur l'ensemble des 7 points de suivi.

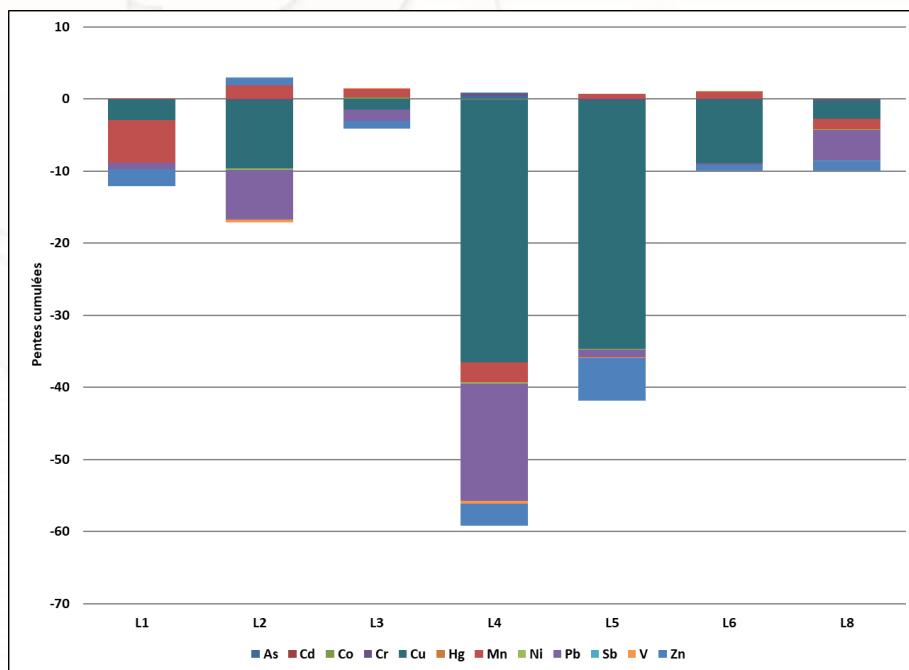
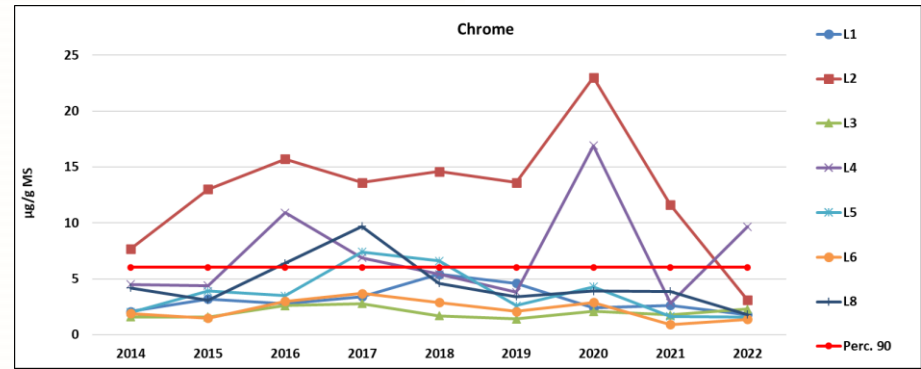
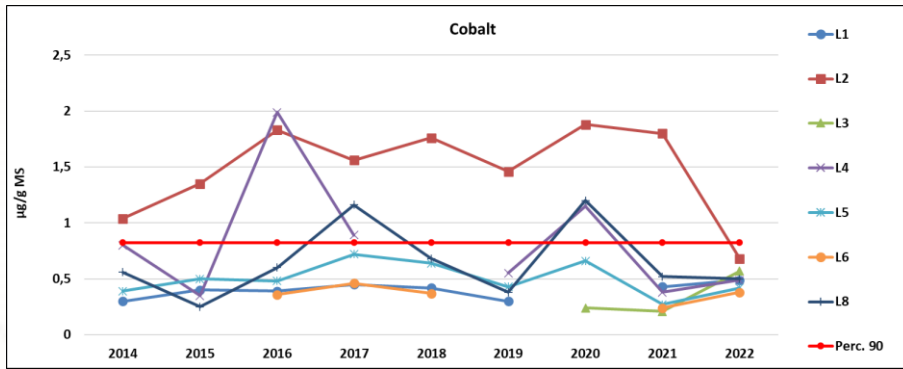
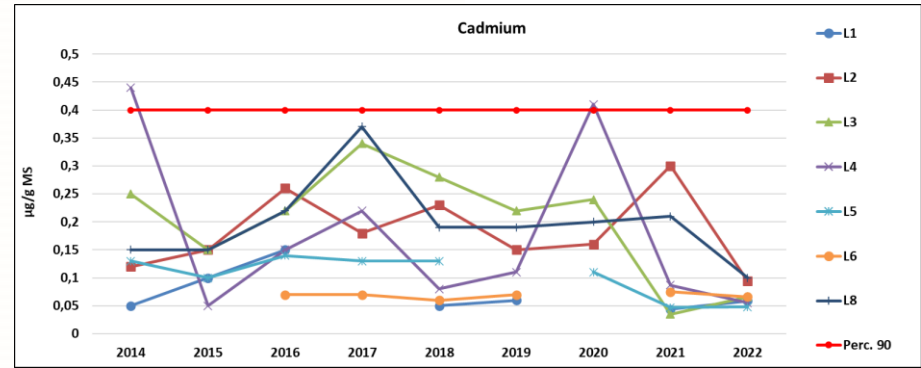
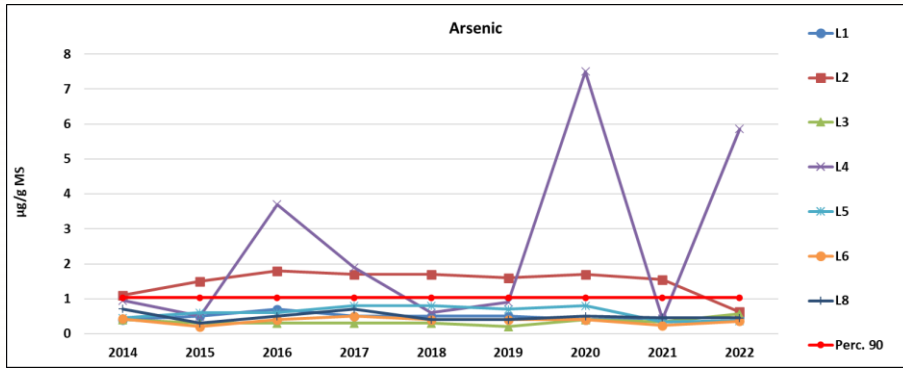
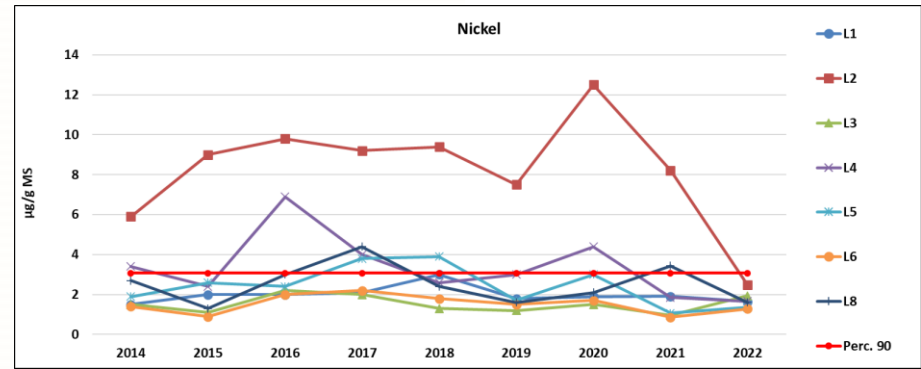
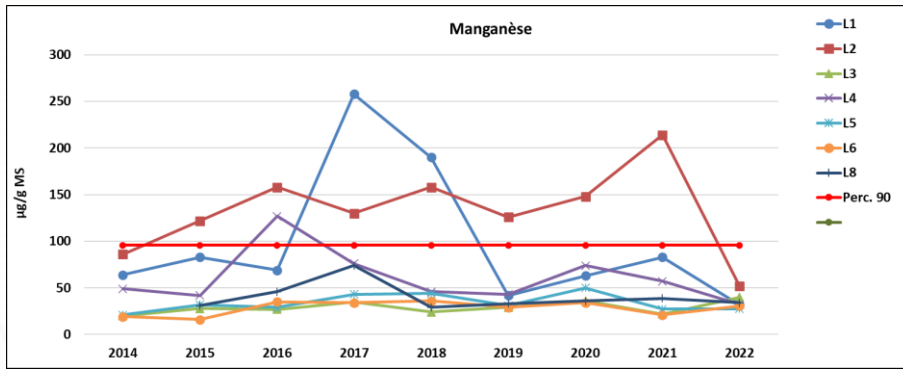
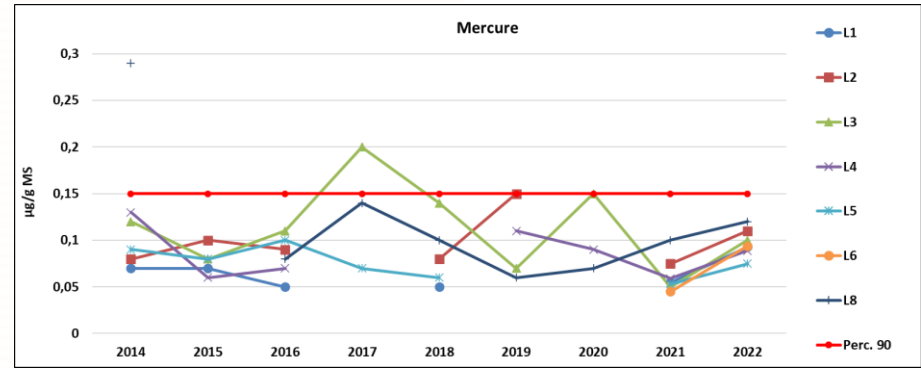
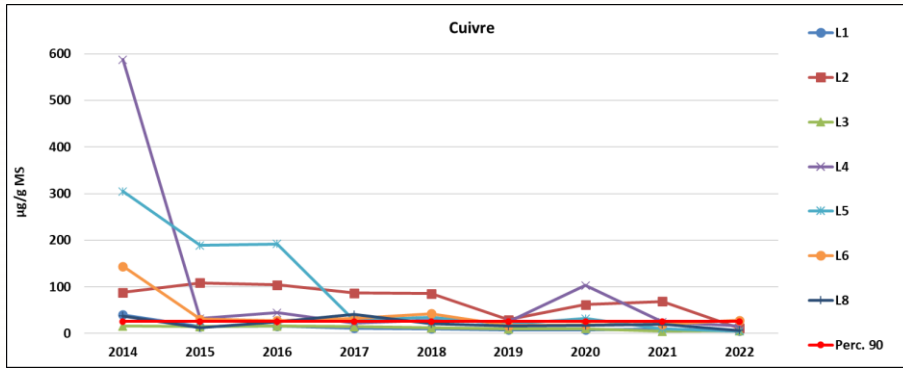


Figure 10 : Tendances évolutives 2014-2022 par site.





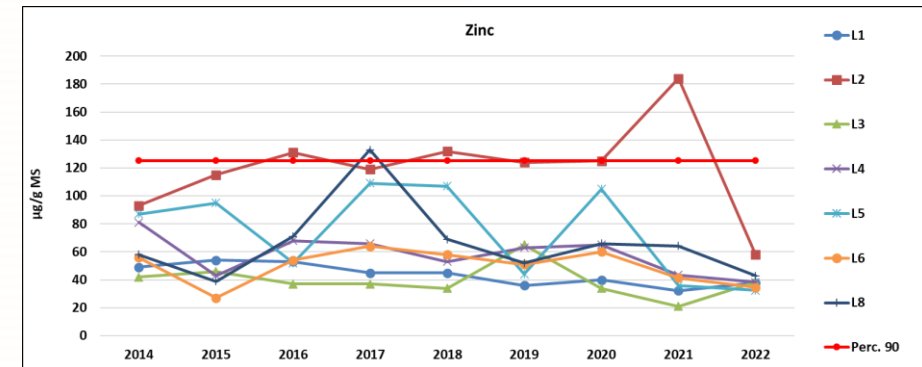
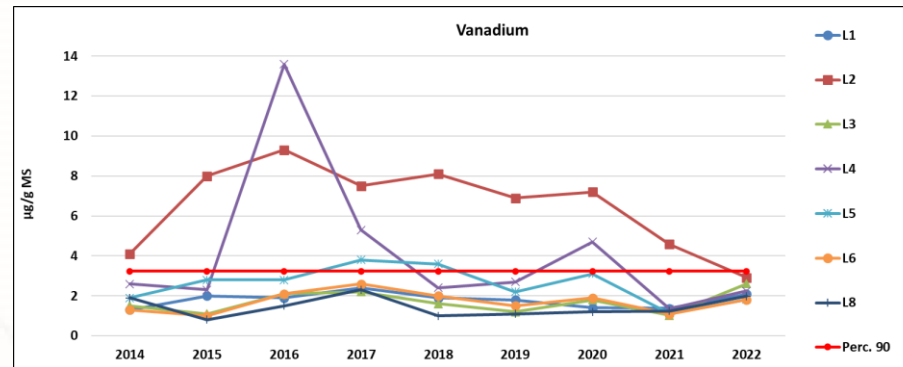
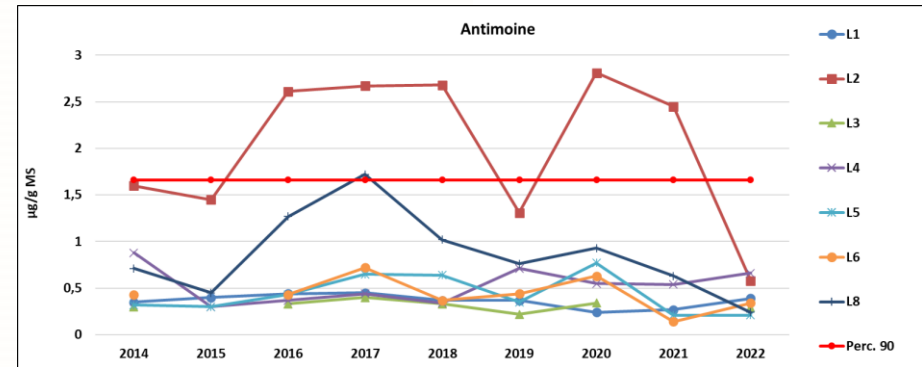
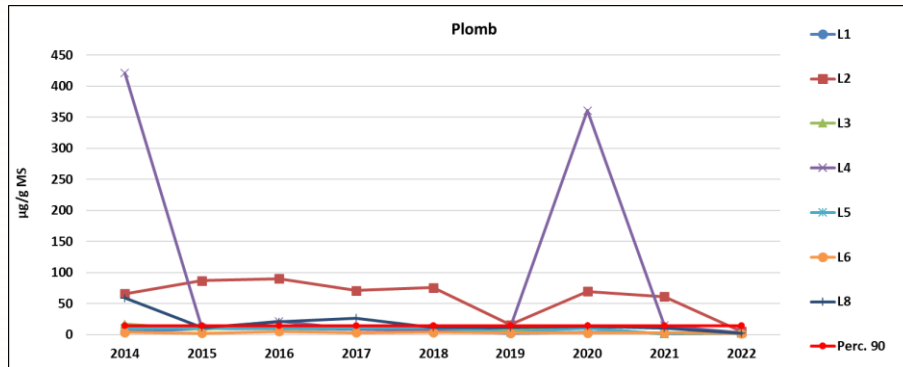


Figure 11 Evolutions temporelles (2014-2022) décomposées par métal.

4.2 Dioxines-furanes

4.2.1 Résultats des dosages

Les résultats sont présentés ci-dessous en valeurs massiques et en équivalences toxiques (OMS 98). L'indice I-TEQ va de 0,108 pour L5 à 0,502 pour L2.

Tableau 9: Résultats des dosages de dioxines-furanes.

Site	Total (pg/g)	Total I-TEQ
L1	15,87	0,109
L2	39,82	0,502
L3	25,04	0,186
L4	17,30	0,342
L5	9,76	0,108
L6	13,96	0,149
L8	24,46	0,463

Selon la norme AFNOR (cf. §4.2.2), la valeur du centile 90 des sites sous influence est de 4,25 pg/g I-TEQ, soit un rapport C_{cent}/C_{Max} et C_{cent}/C_{Min} variant de 8,47 pour L2 à 39,53 pour L5. Comme pour les métaux, aucun lien ne peut être mis en avant entre la localisation des sites de suivi et les vents dominants.

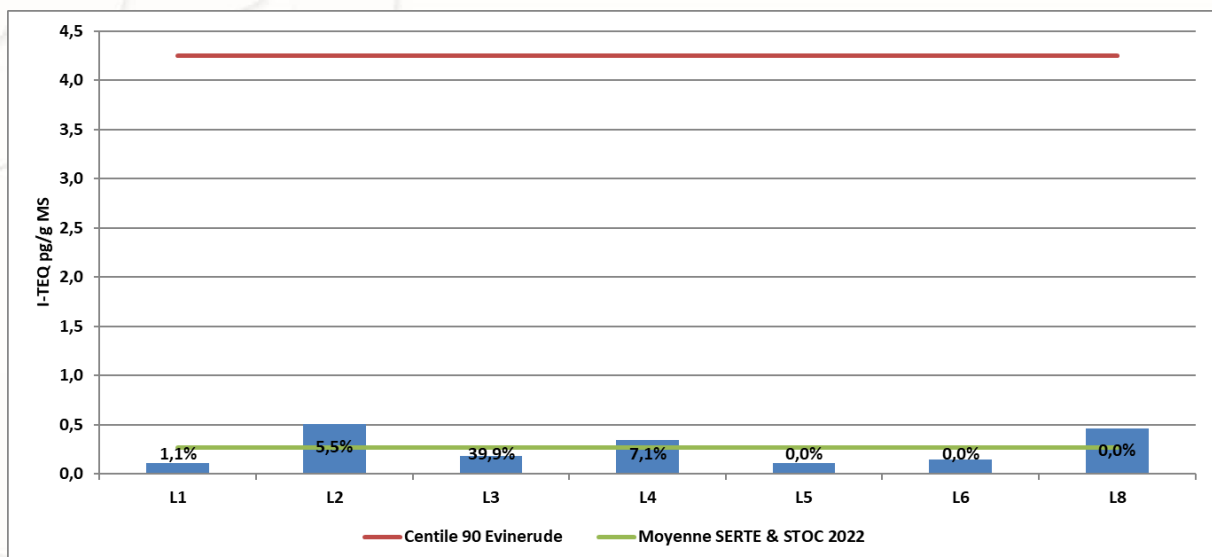


Figure 12 : Résultats des dosages de dioxines-furanes.

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 semestre précédant les prélèvements, période d'exposition des transplants.

Chaque histogramme montre des ratios différents, ce qui tend à prouver que chaque site est influencé localement par une source précise et non par une source unique prépondérante. Ce qui se confirme avec les profils des émissions des deux usines, profondément différents de ceux des sites lichéniques.

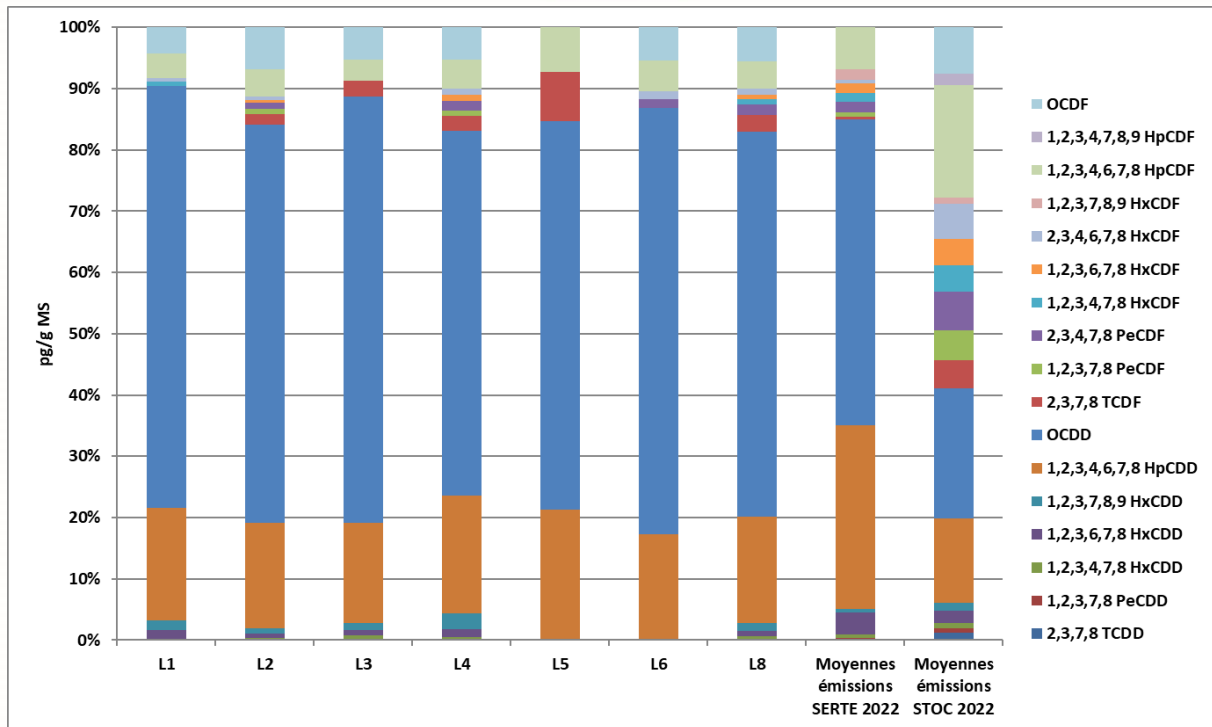


Figure 13 : Histogrammes des congénères des dioxines-furanes.

4.2.2 Référence à la norme

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 10 : Valeurs bibliographiques et actuelles pour les dioxines-furanes.

	Valeurs repères Evinerude centile 10 - centile 90		Valeurs locales Moyenne (min - max)
	Sites témoins	Sites influencés	Tous sites confondus
PCDD-F			
Massique	18,4 - 57,03	20,06 - 213,29	20,88 (9,76 - 39,82)
I-TEQ	0,89 - 2,74	0,64 - 4,25	0,27 (0,11 - 0,5)

Les valeurs de cette campagne sont très basses et aucune ne dépasse les centiles 90 ni pour les sites témoins, ni pour les sites sous influence.

4.2.3 Comparaisons temporelles

La figure suivante présente les valeurs massiques et I-TEQ sur 9 campagnes.

Sur le point L8, les valeurs ont augmenté en concentrations massique et I-TEQ. Sur tous les autres points, l'indice I-TEQ diminue (jusqu'à - 90 % sur L5). En massique, la valeur augmente ou diminue selon les sites. Sur L3, la valeur massique augmente de + 205 % quand l'indice I-TEQ diminue de - 41 %. Cela s'observe quand ce sont les congénères les moins toxiques qui augmentent en concentration.

Depuis le début des suivis, la tendance est à la baisse pour l'ensemble des sites, excepté pour la valeur massique de L4 mais où la tendance est quasi nulle désormais.



Figure 14 : Comparisons temporelles (2014-2022) des concentrations massiques et I-TEQ des dioxines-furanes.

4.3 PCB de type dioxines

4.3.1 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 0,021 sur L5 à 1,922 sur L2.

Tableau 11 : Résultat des dosages de PCB-DL.

Site	Total (pg/g)	Total I-TEQ
L1	185,23	0,025
L2	903,70	1,922
L3	198,57	0,027
L4	228,61	0,028
L5	171,81	0,021
L6	217,72	0,027
L8	264,82	0,037

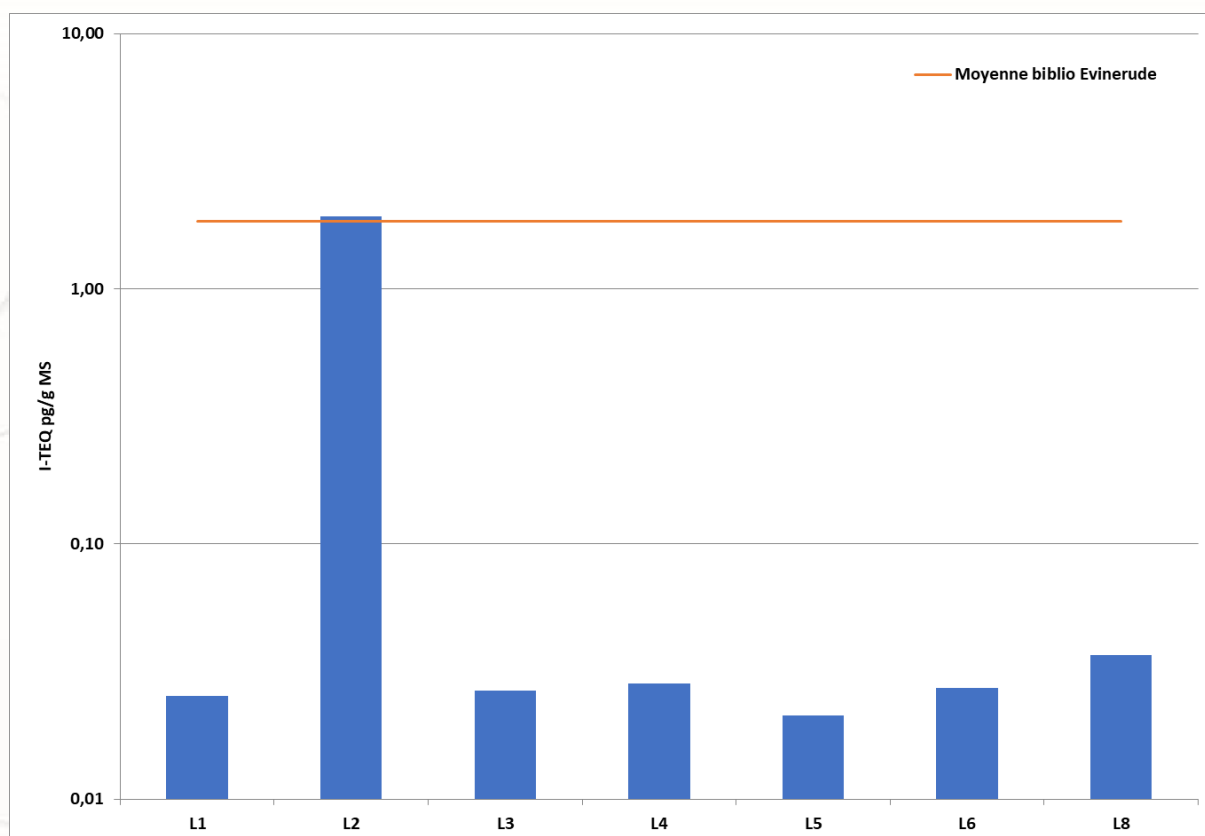


Figure 15 : Résultats des dosages de PCB-DL.

Le site L2 continue de se démarquer par rapport aux autres points de suivi avec une valeur très nettement supérieure : 90 fois plus élevée que pour le site L5 et quasiment équivalente à la moyenne bibliographique.

La Figure 16 montre que l'indice I-TEQ reflète les concentrations importantes de plusieurs congénères et non uniquement les plus toxiques. La Figure 17 montre que pour les organiques également, plusieurs sources semblent apparaître, les profils montrant des différences entre les sites, surtout pour le site L2.

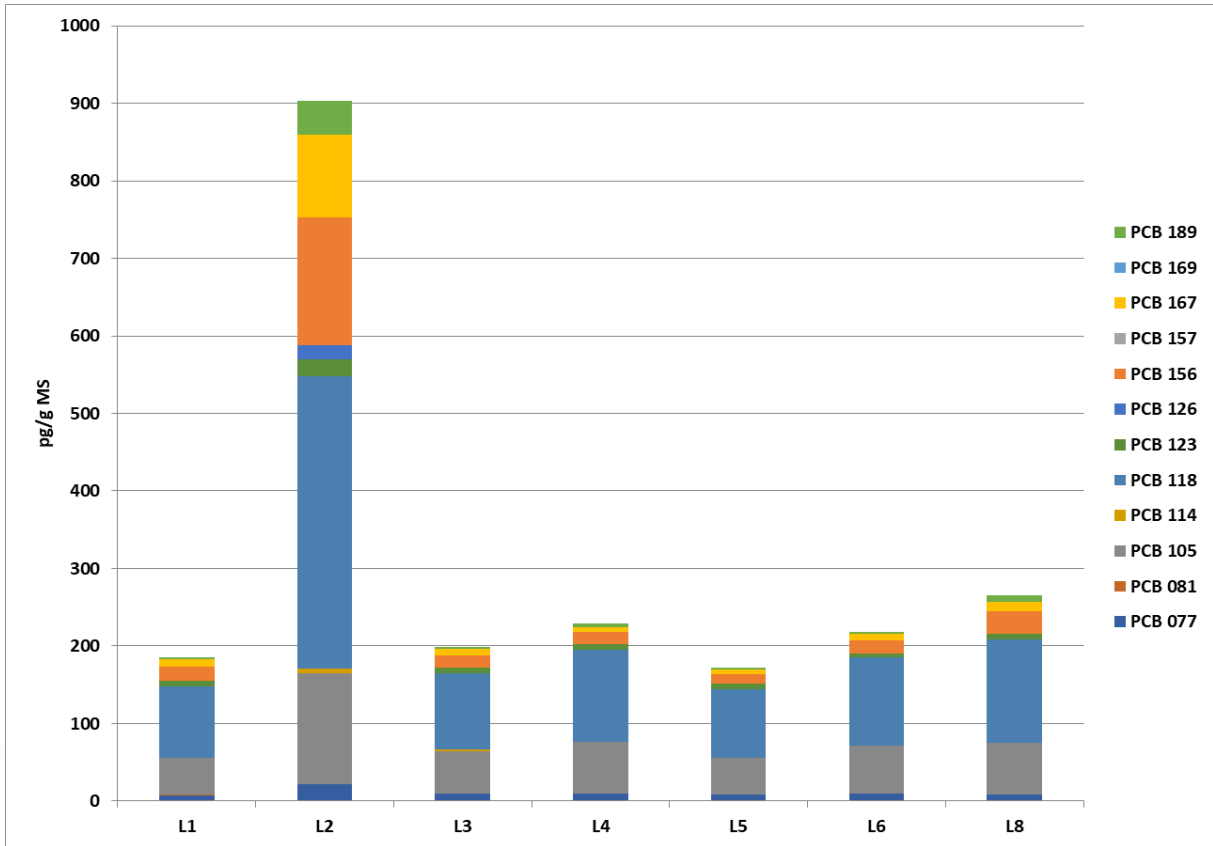


Figure 16 : Cumul massique des concentrations de PCB-DL.

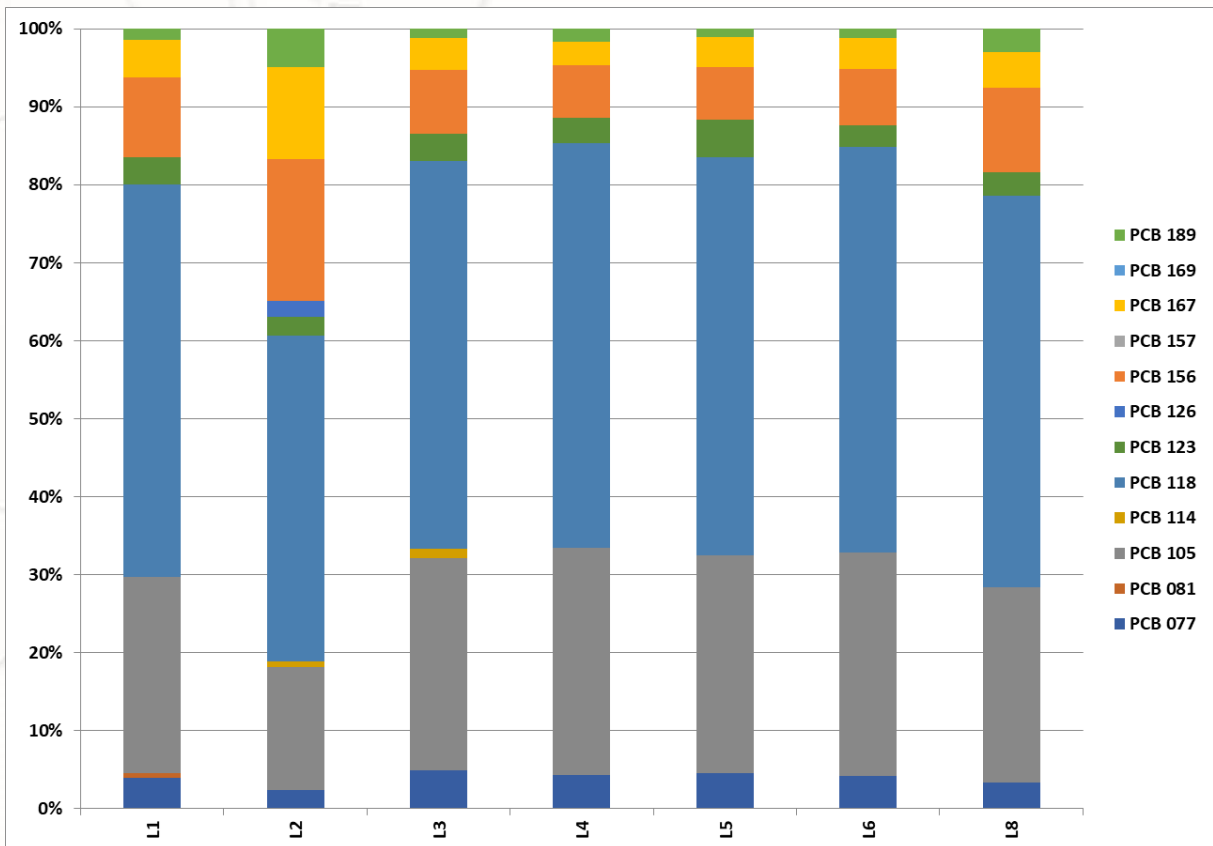


Figure 17 : Répartition des congénères de PCB-DL.

4.3.2 Comparaisons aux valeurs de naturalité

Les PCB-DL étant rarement dosés, nous n'avons pas une quantité de valeurs suffisante pour répondre aux exigences de la norme AFNOR. Aussi, pour ces composés, nous proposons l'approche de la naturalité comme pour la campagne 2021.

Tableau 12 : Naturalité de chaque site vis-à-vis des concentrations en PCB-DL.

	Total massique	Total I-TEQ
L1	185,23	0,025
L2	903,70	1,922
L3	198,57	0,027
L4	228,61	0,028
L5	171,81	0,021
L6	217,72	0,027
L8	264,82	0,037

Comme le montre le code couleur, aucun impact sur la naturalité n'est observé, y compris pour le site L2 ayant les valeurs les plus élevées de la campagne.

4.3.3 Comparaisons temporelles

D'après la Figure 18, les valeurs massiques et I-TEQ diminuent entre 2021 et 2022 pour L1, L2, L5 et L6. En revanche, elles augmentent pour L3, L4 et L8.



Figure 18 : Comparaisons temporelles (2014-2022) des concentrations massiques et I-TEQ des PCB-DL.

5. Organiques totaux

D'après le tableau suivant, le site L2 est le plus exposé aux composés organiques (dioxines-furanes et PCB-DL), tant en valeur massique qu'en indice I-TEQ.

Le site L5, un des deux témoins, est quant à lui le moins exposé.

Tableau 13 : Totaux des composés organiques

	Total massique	Total I-TEQ
L1	201,10	0,134
L2	943,52	2,424
L3	223,61	0,212
L4	245,91	0,371
L5	181,57	0,129
L6	231,68	0,177
L8	289,28	0,499

6. 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. 9 campagnes de mesures en composés organiques et inorganiques sont disponibles pour étudier leurs évolutions dans le temps.

Le site L2 confirme son statut de point de surveillance le plus exposé à la déposition métallique, notamment vis-à-vis du nickel.

Le site L4 se démarque pour cette campagne avec une très forte concentration en arsenic. Ce fait avait déjà été observé historiquement, ce point ayant déjà connu 2 pics depuis 2014 (2016 et surtout 2020).

L3 et L6 sont les deux sites les moins impactés.

L'arsenic et le chrome sont les deux métaux (sur L4) à montrer une concentration supérieure au centile 90 des sites sous influence anthropique (selon la bibliographie). Le cuivre dépasse également le centile pour L6.

La prise en compte des vents dominants et de la distance des points aux usines ne permet pas de trouver de lien entre ces bâtiments industriels et les résultats dans les lichens.

L'arsenic et le chrome sur L4 sont les deux métaux ayant augmenté de plus de 200 % par rapport à 2021. D'autres ont également plus que doublé (Co, V, Ni et Pb sur L3 ; Sb et Hg pour L6). Ils seront à surveiller pour la prochaine campagne.

Depuis le début des suivis, cuivre, nickel et plomb sont les 3 métaux à avoir diminué sur l'ensemble des 7 points. Globalement, une baisse s'observe sur l'ensemble des points.

Du point de vue des dioxines-furanes, le site L2 est le plus impacté quand L5 le sera le moins. Malgré tout, les résultats sont très proches les uns des autres et aucun de ces résultats ne peut être mis en relation avec la distance aux usines ou avec les vents dominants. L'analyse des congénères montre plutôt que chaque site est influencé localement par une source particulière.

Malgré des variations selon les années, la tendance est à la diminution (en massique et en indice I-TEQ) pour l'ensemble des sites.

Pour les PCB-DL, le site L2 se démarque avec une valeur bien plus élevée que pour les autres sites et une répartition des congénères très différente, ce qui démontre l'influence d'une source locale. Malgré tout, cette valeur ne montre pas d'impact sur l'environnement (selon la biblio).

Comme pour les dioxines, malgré des variations, les tendances sont à la baisse depuis 2014.

Pour cette campagne, le site L5 est le moins impacté par l'ensemble des paramètres suivis, quand L2 sera, au contraire, le plus impacté.

En août 2022, deux transplants ont été posés sur chaque site. Le premier fut récolté en février dernier, le second le sera en octobre 2023 lors de la campagne annuelle. Pour le remplacer, de nouveaux transplants devront être installés à cette même époque, afin d'être exposés pendant au moins 1 an.

7. Les textes réglementaires

7.1 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.

7.2 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.

8. Méthodologie

8.1 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.

8.2 Éléments analysés

8.2.1 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.

8.2.2 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 %.

8.2.3 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.

8.2.4 Synthèse des LQ

Tableau 14 : 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		




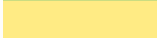



8.2.5 Références pour la naturalité

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 15 : 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

9. Atlas cartographique

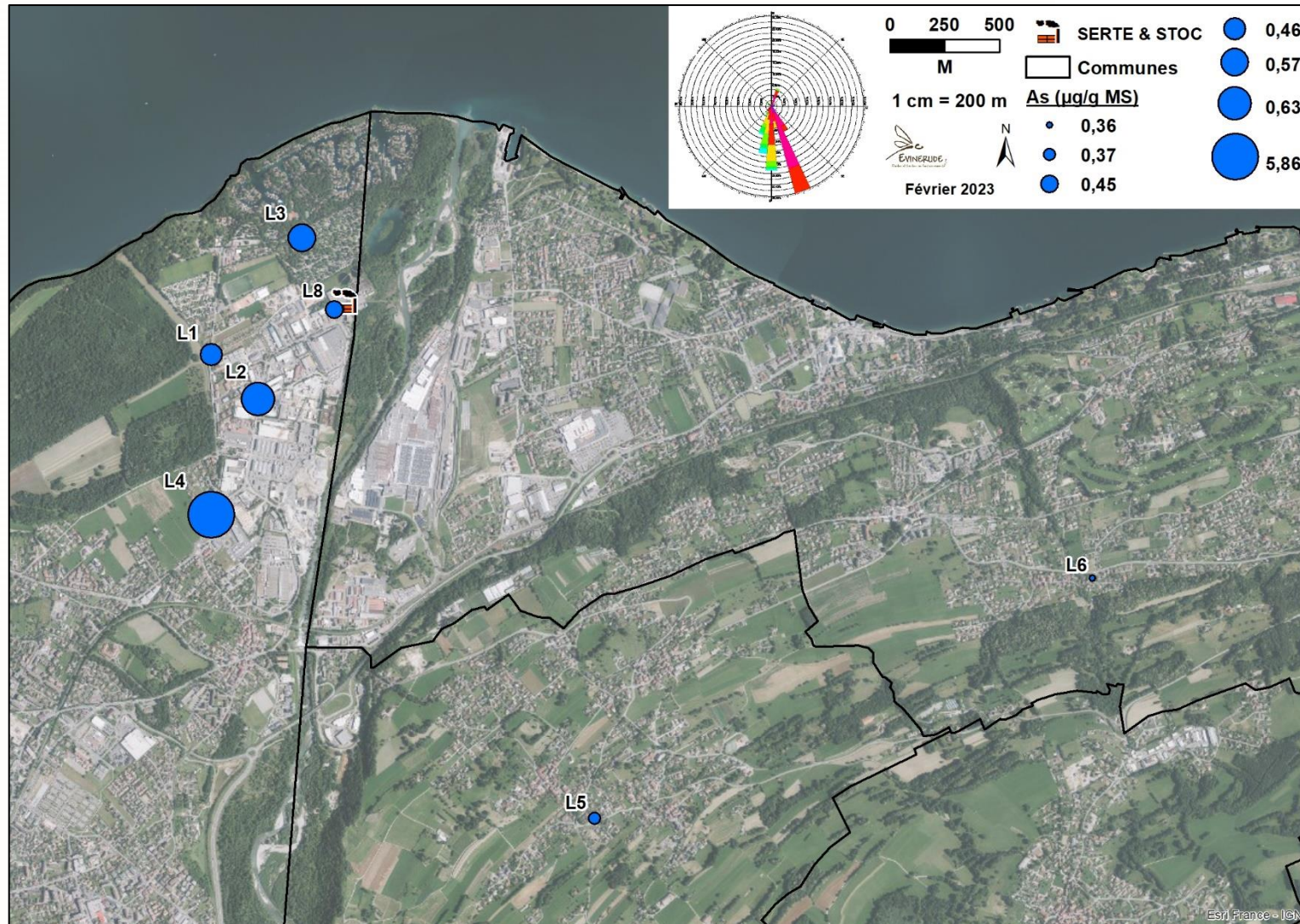


Figure 19 : Cartographie de l'arsenic.

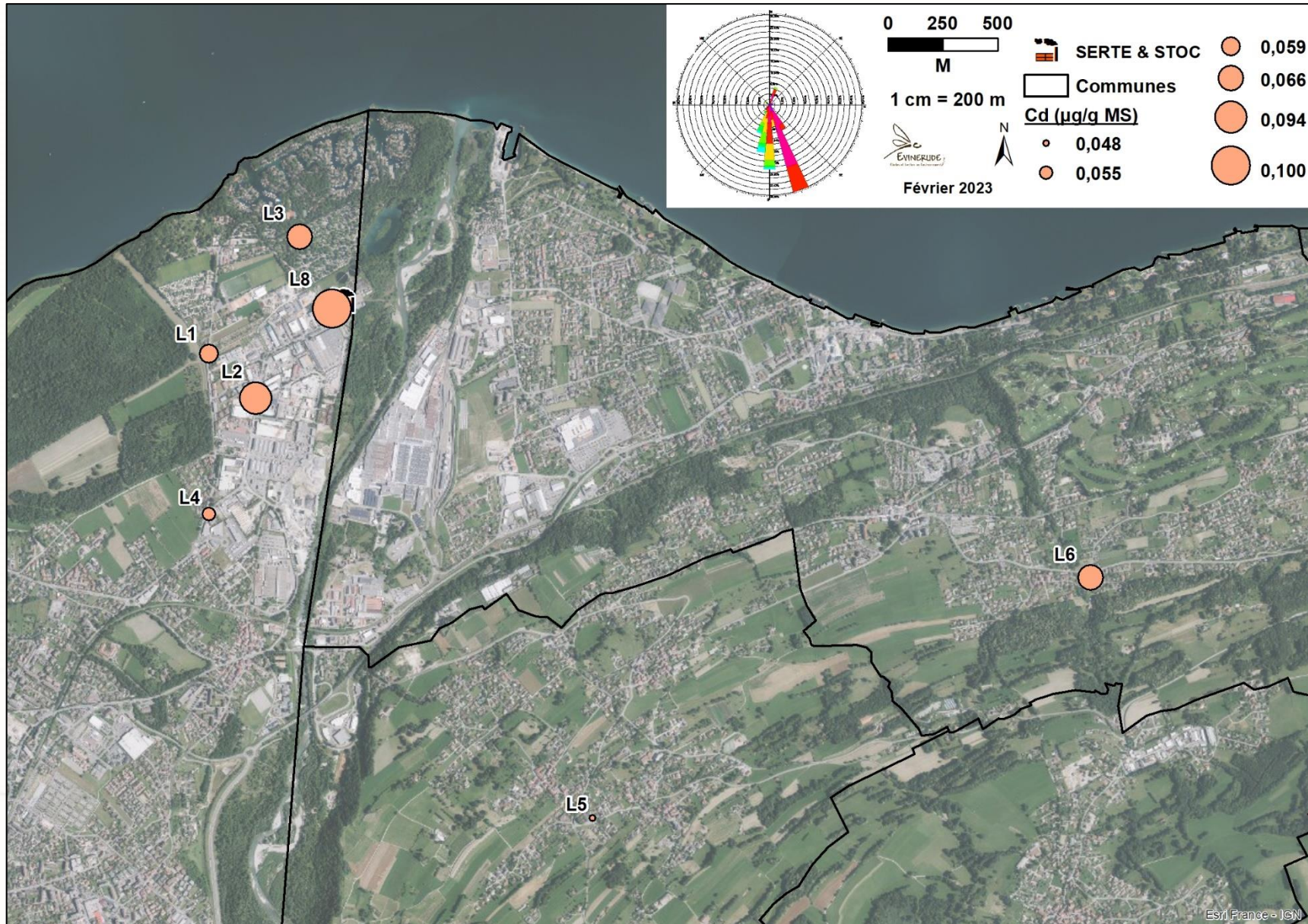


Figure 20 : Cartographie du cadmium.

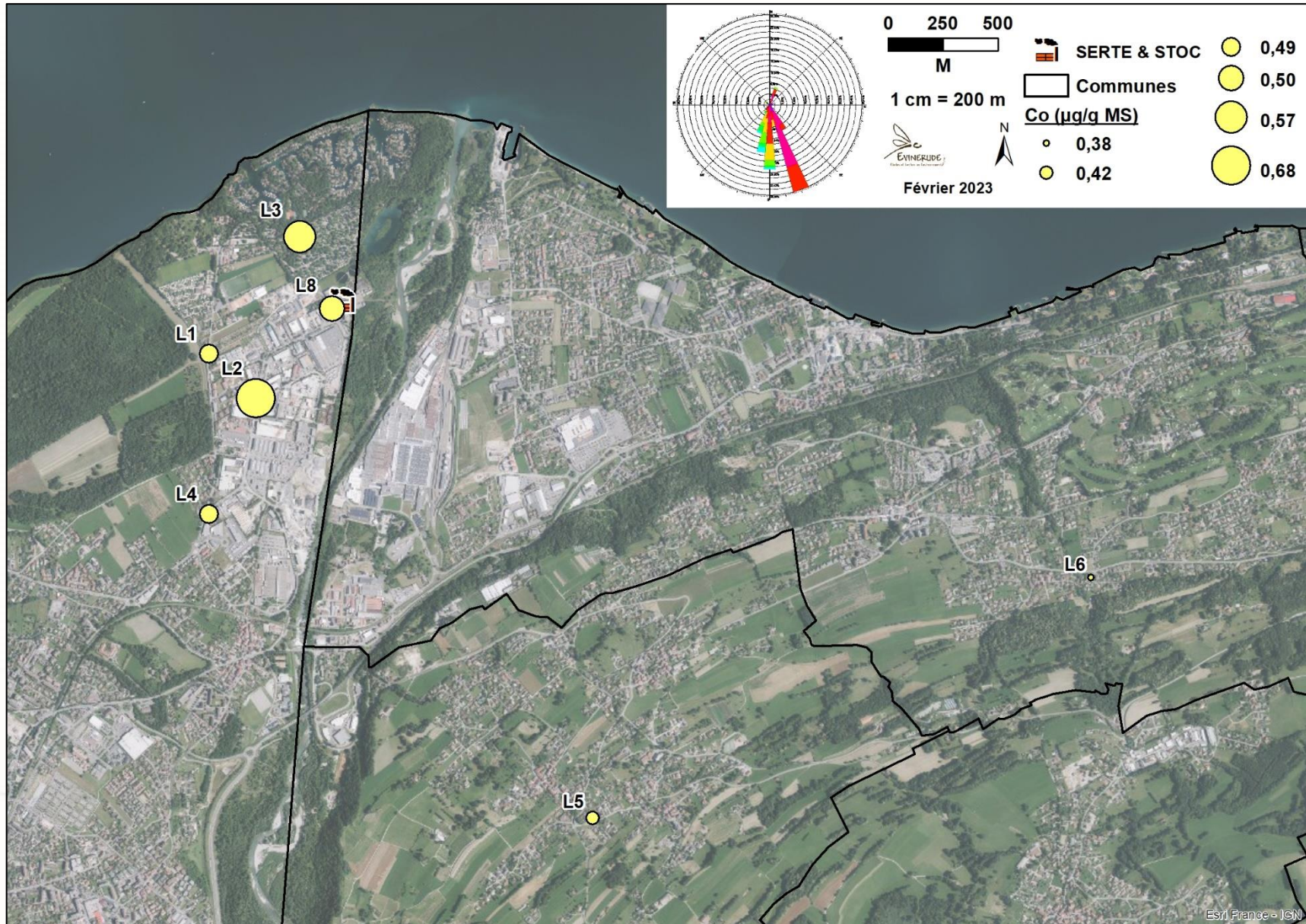


Figure 21 : Cartographie du cobalt.

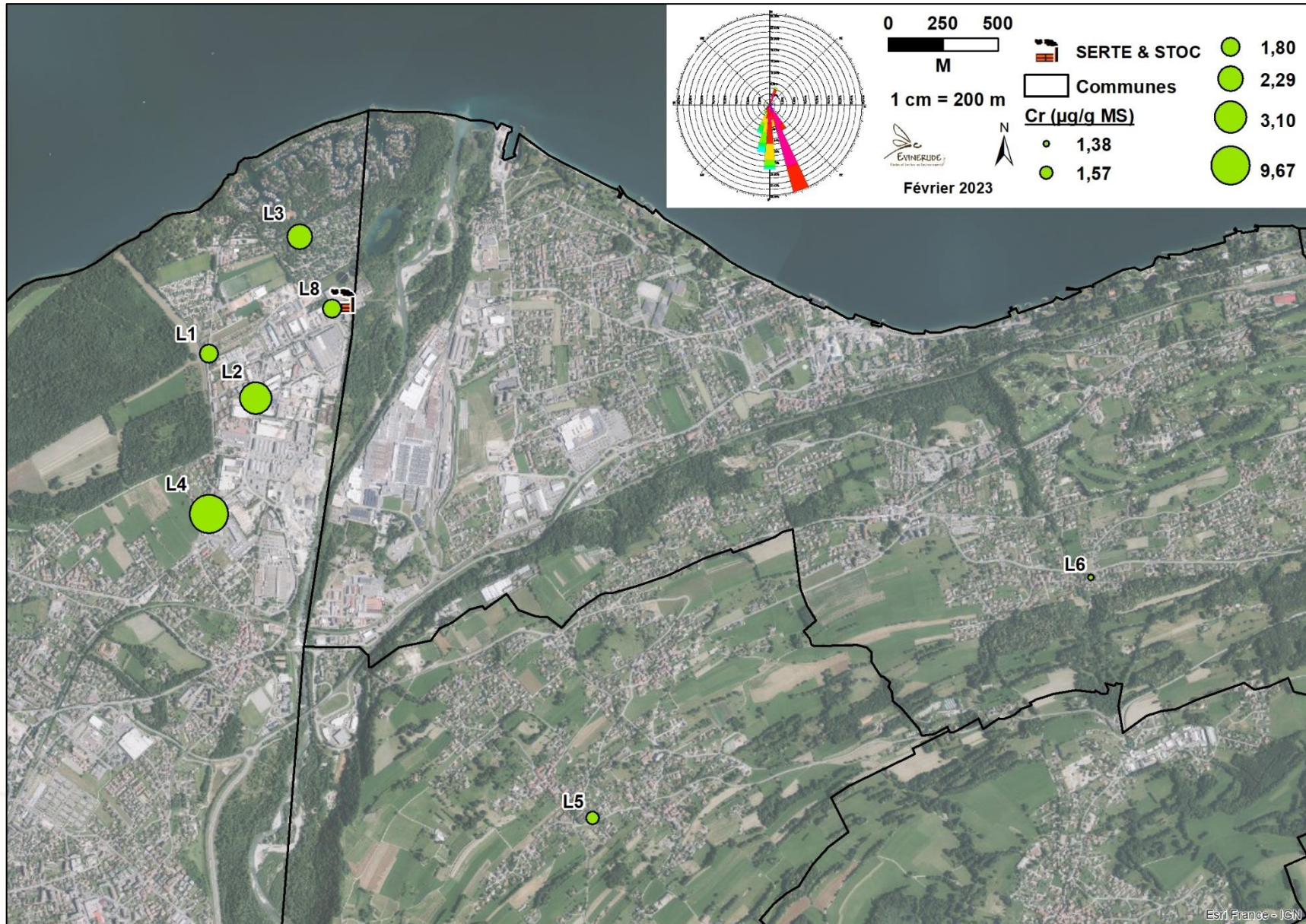


Figure 22 : Cartographie du chrome.

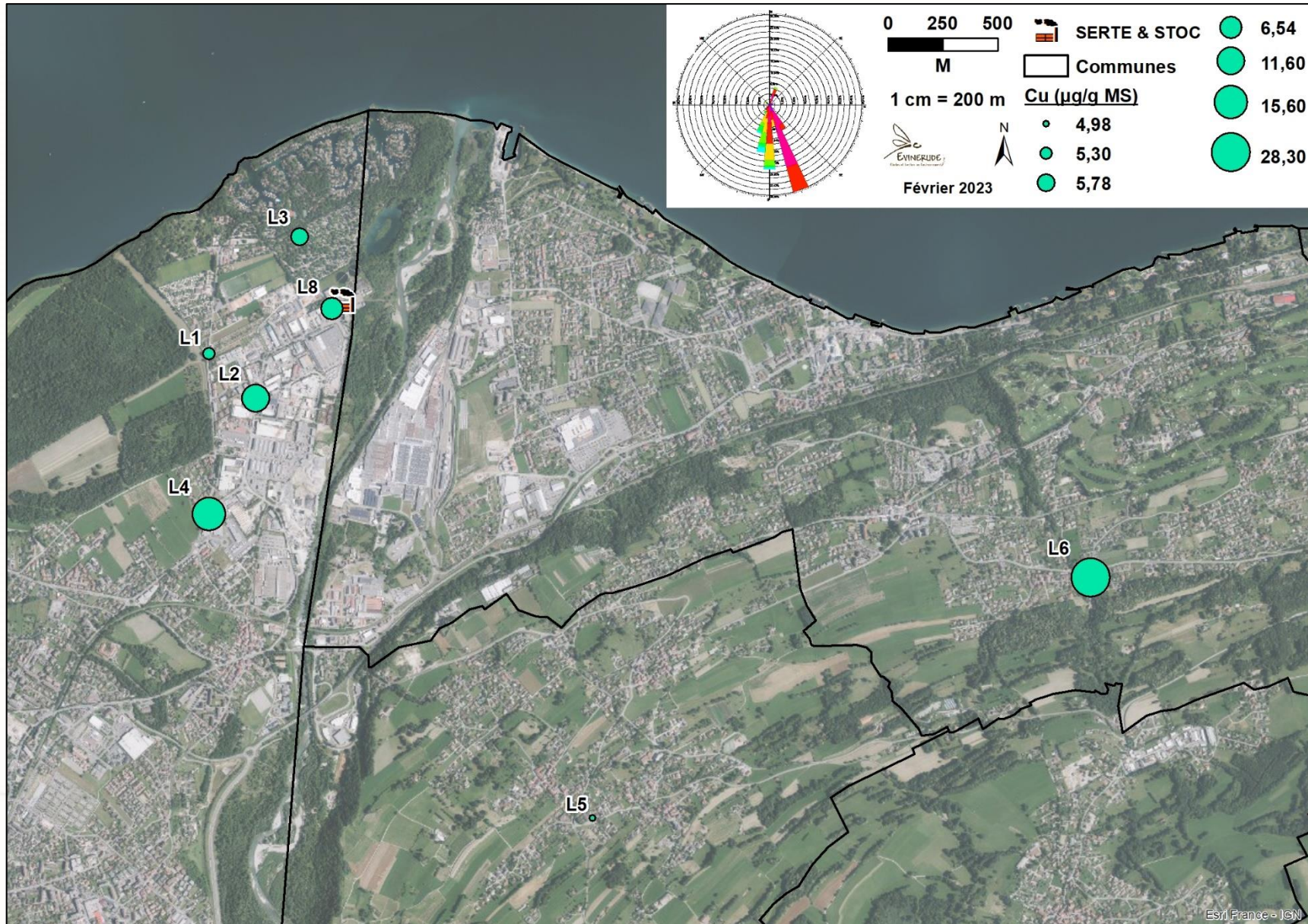


Figure 23 : Cartographie du cuivre.

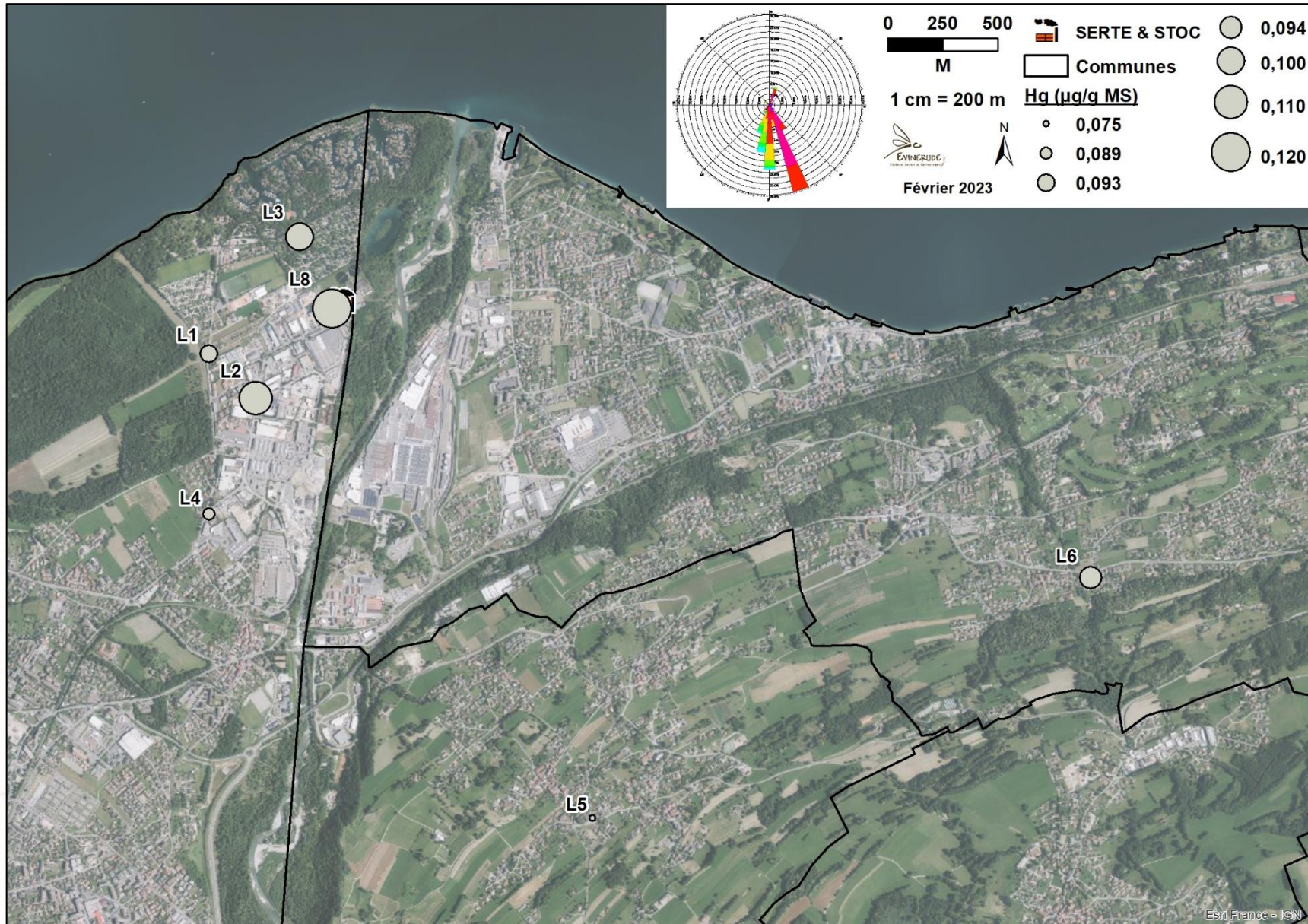


Figure 24 : Cartographie du mercure.

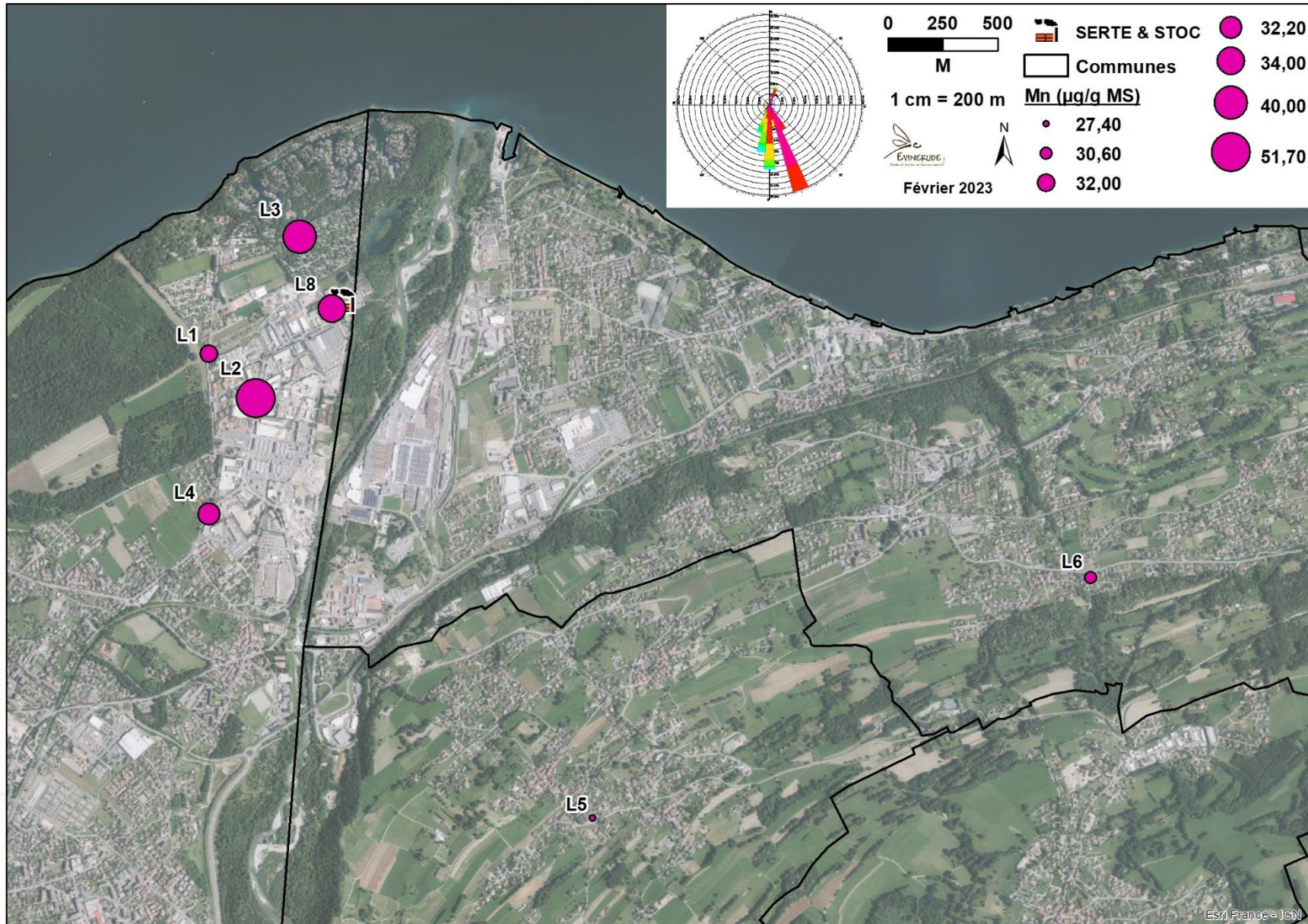


Figure 25 : Cartographie du manganèse.

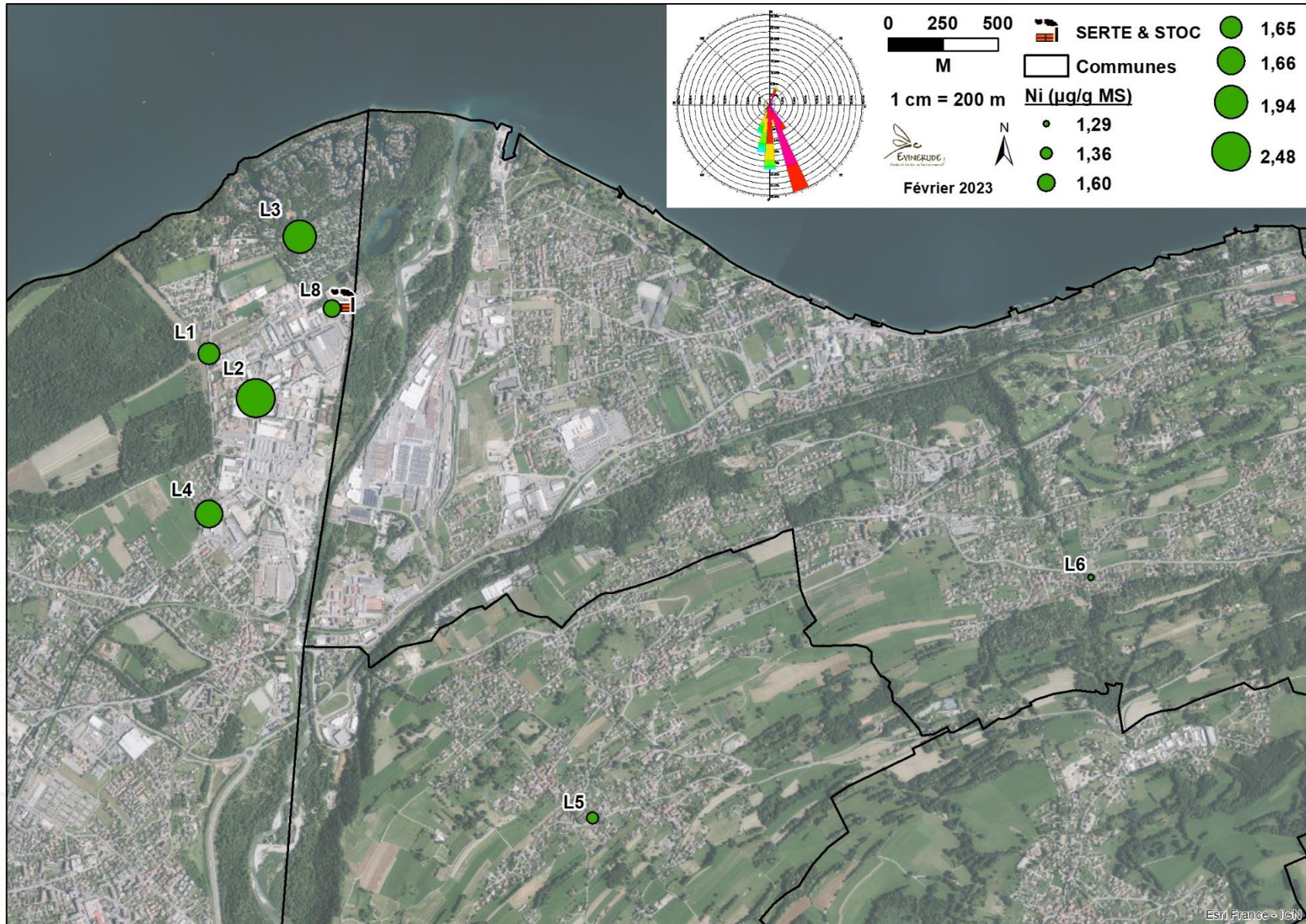


Figure 26 : Cartographie du nickel.

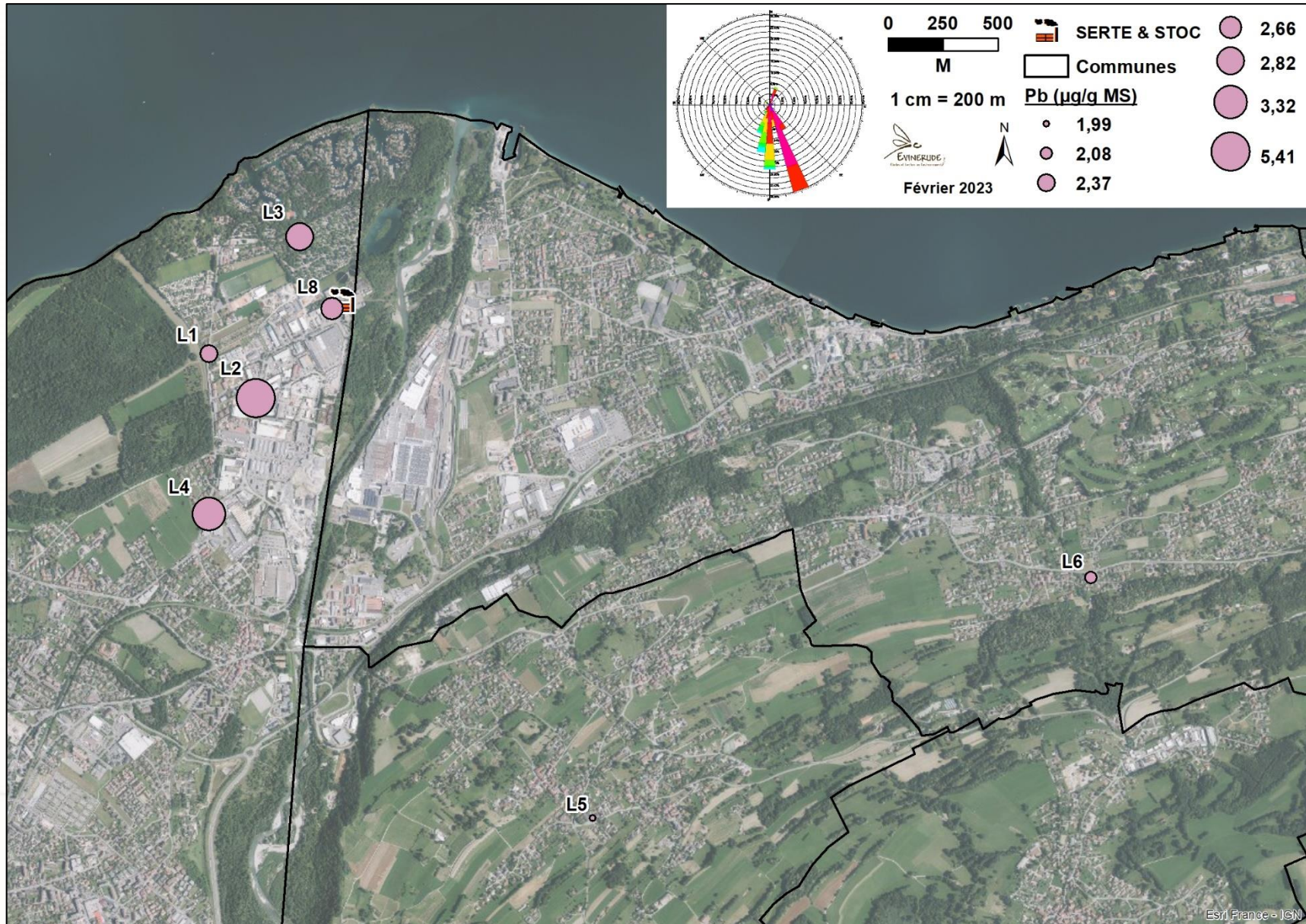


Figure 27 : Cartographie du plomb.

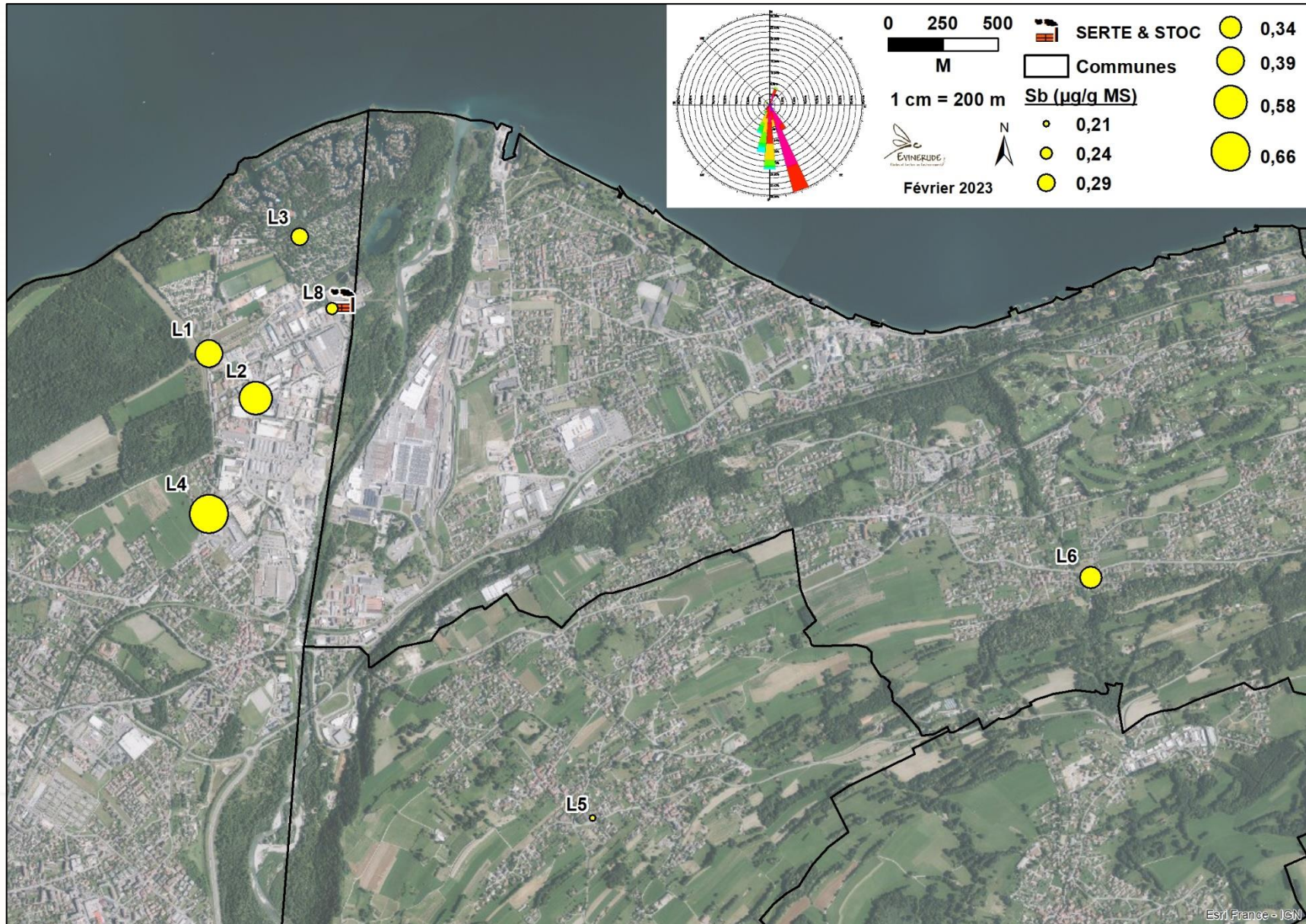


Figure 28 : Cartographie de l'antimoine.

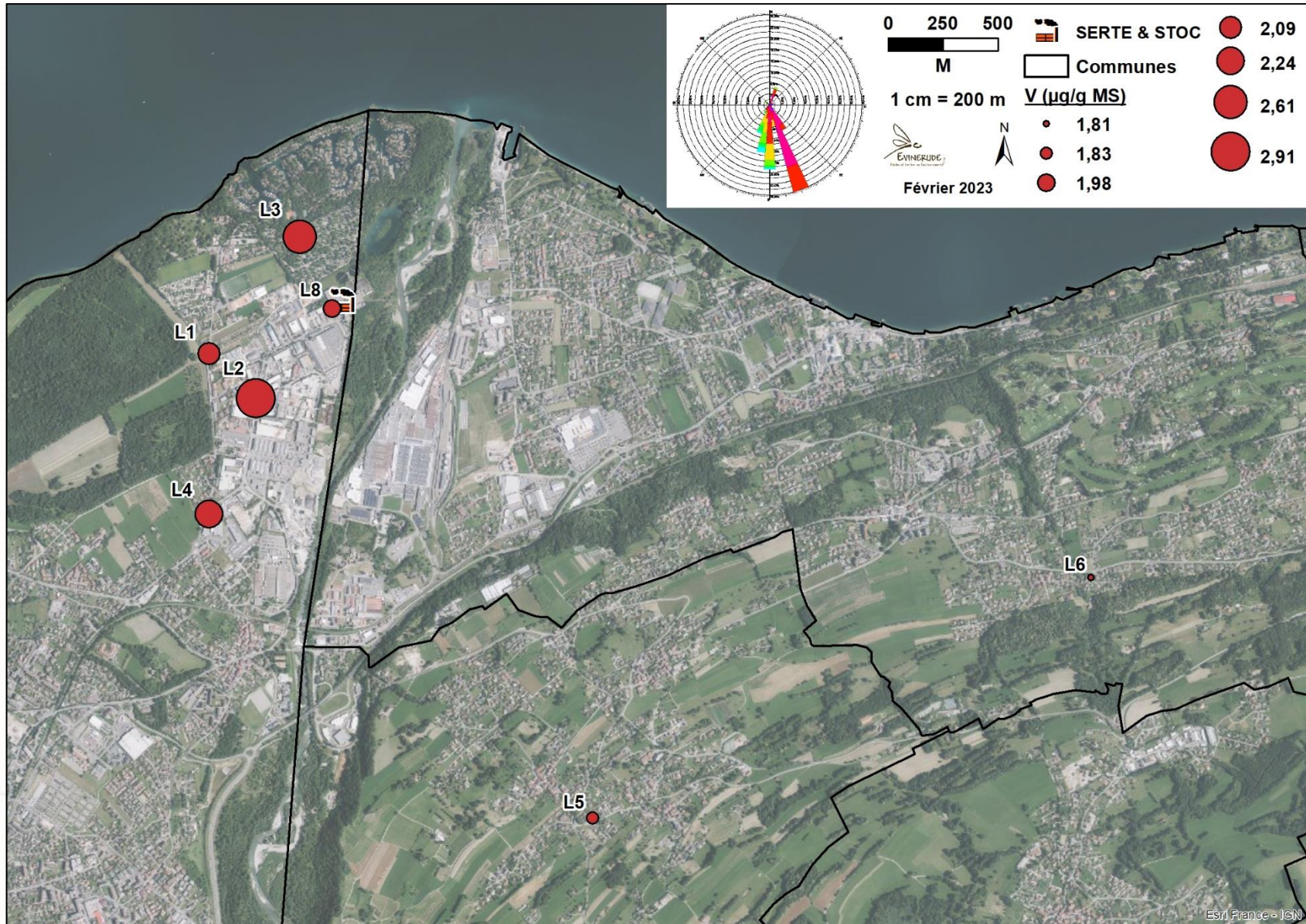


Figure 29 : Cartographie du vanadium.

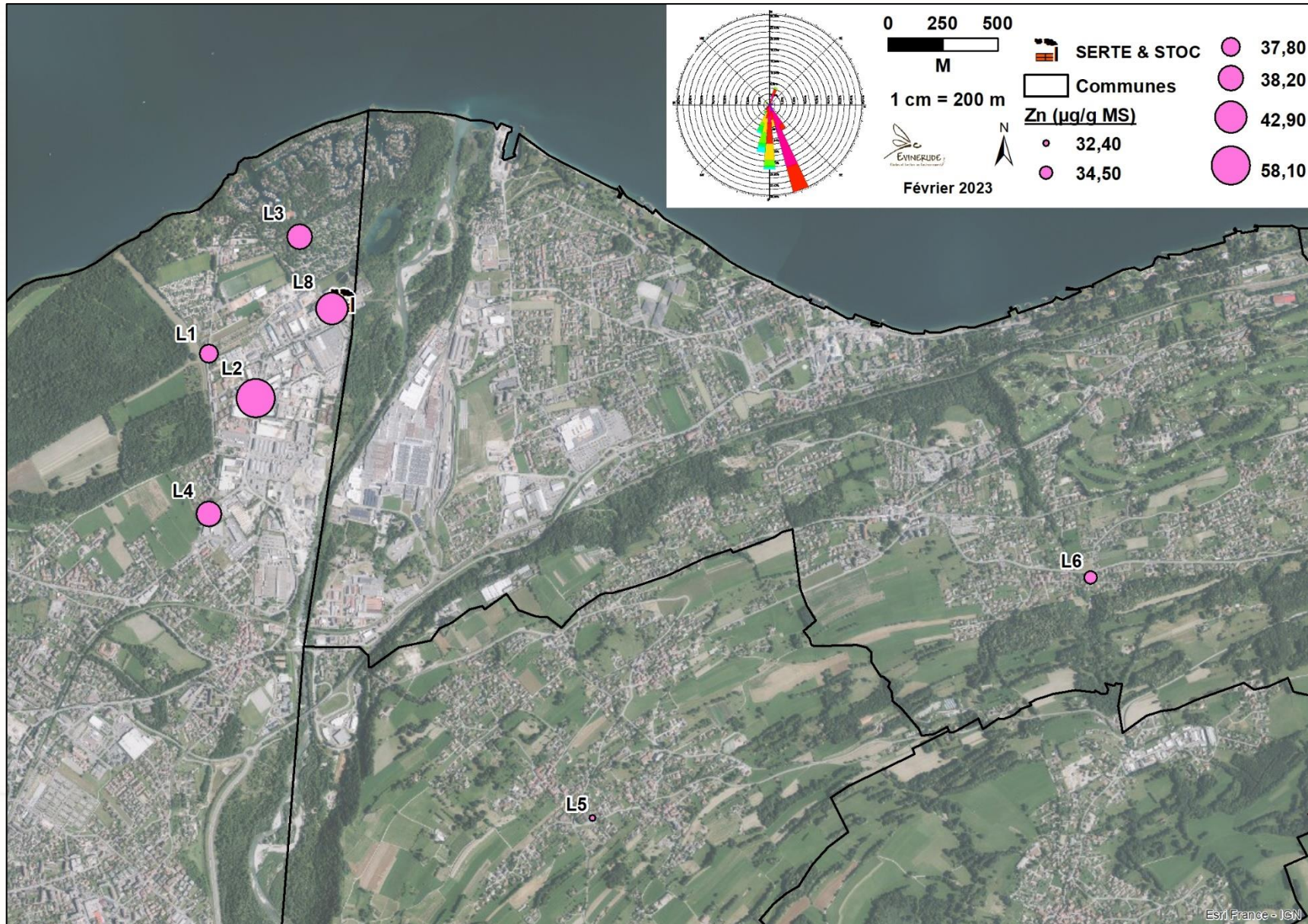


Figure 30 : Cartographie du zinc.

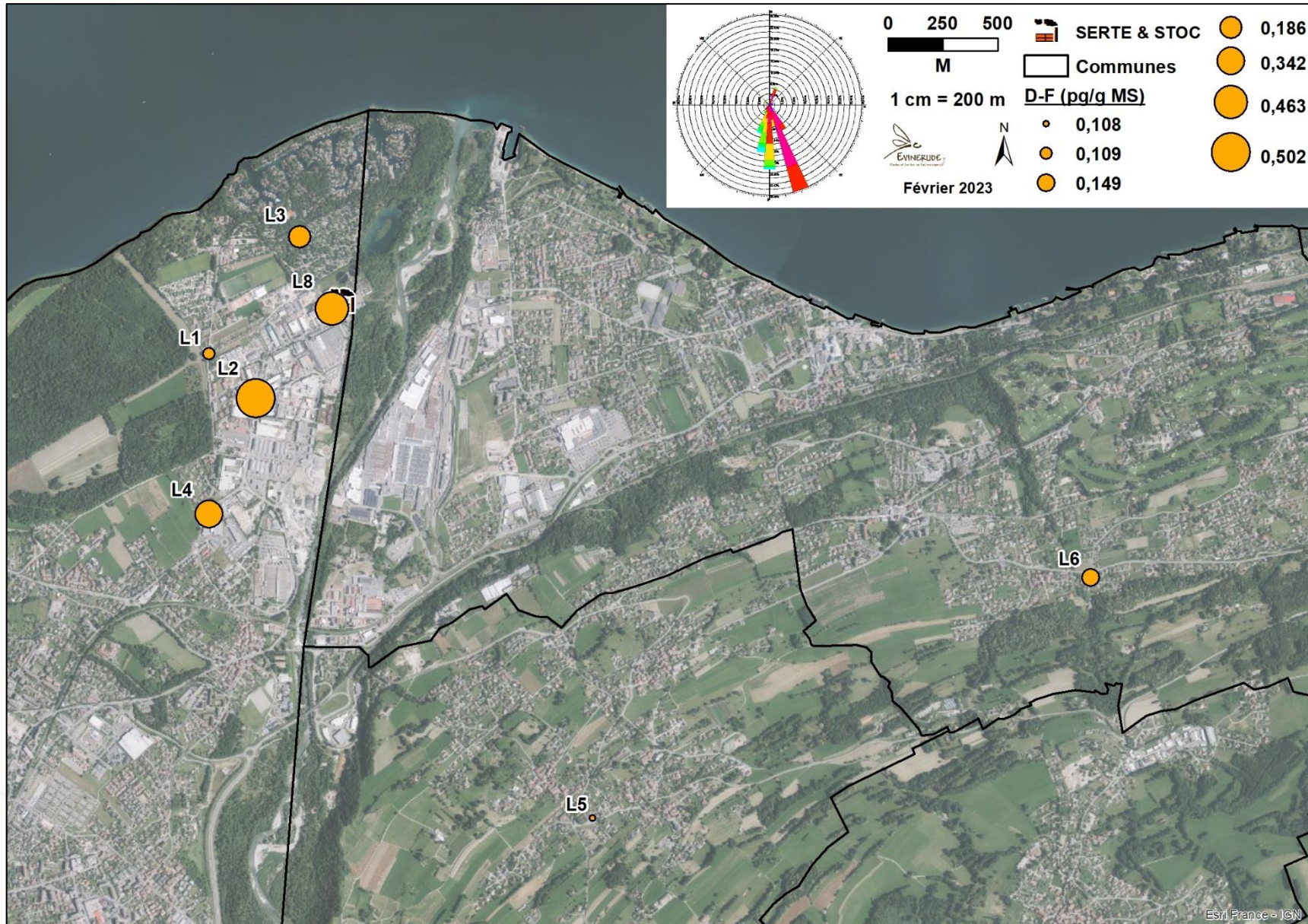


Figure 31 : Cartographie des dioxines-furanes.

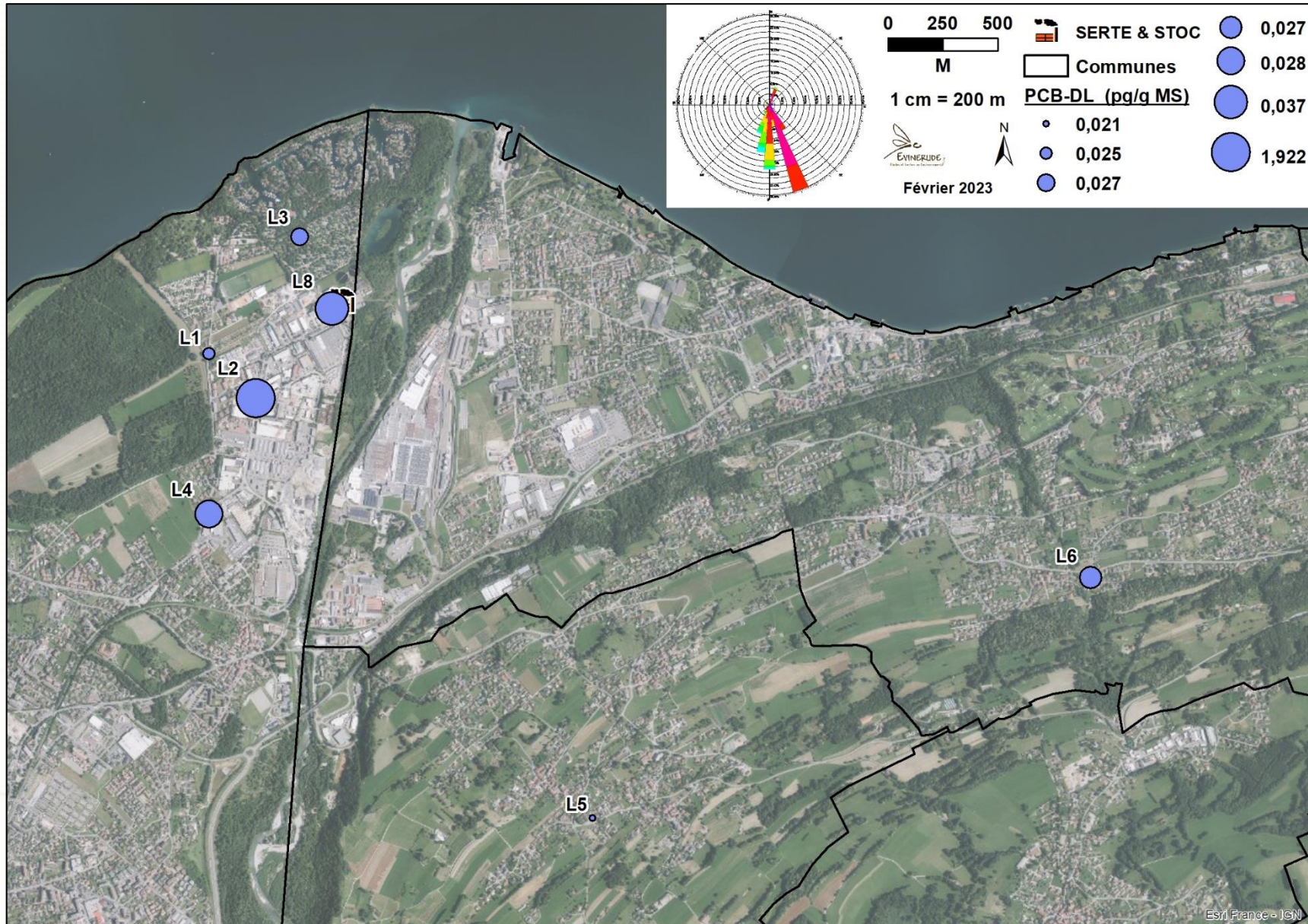


Figure 32 : Cartographie des PCB-DL.

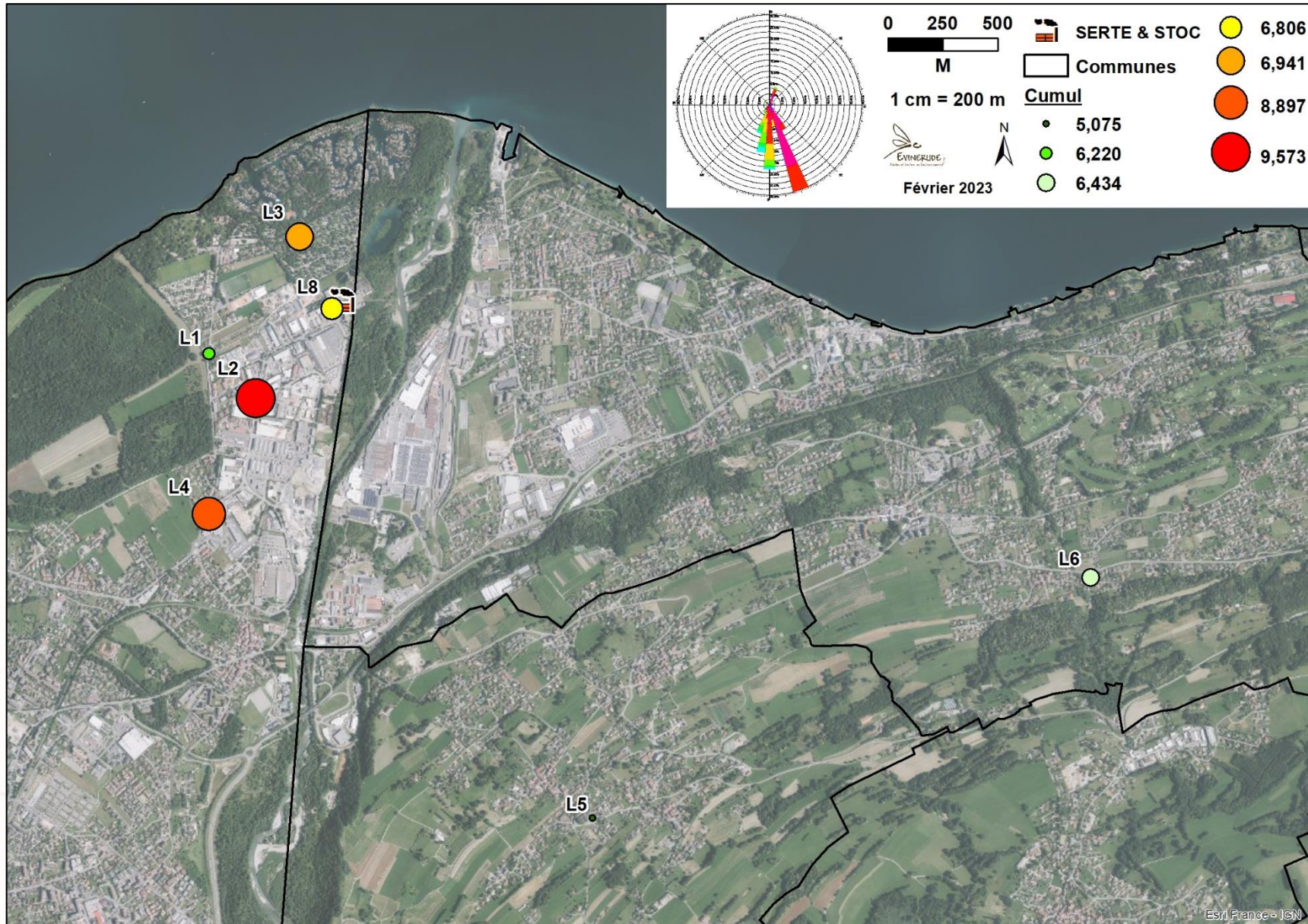


Figure 33 : Cartographie de la participation métallique.