

Estimation objective des métaux lourds

ZAS de la Région
Centre-Val de Loire

2023

Juin 2024



Surveillance de la qualité de l'air
en région Centre-Val de Loire

AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air
LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air
PNSQA : Plan National de Surveillance de la Qualité de l'Air
PRSQA : Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air

SEI : Seuil d'Evaluation Inférieur
SES : Seuil d'Evaluation Supérieur

ZAG : Zone Agglomération
ZAR : Zone à Risque
ZAS : Zones Administratives de Surveillance
ZR : Zone Régionale

Polluant :

Pb : Plomb
Ni : Nickel
As : Arsenic
Cd : Cadmium

Sommaire

Introduction	4
Les métaux lourds	4
a) L'arsenic.....	4
b) Le cadmium	5
c) Le nickel.....	5
d) Le plomb.....	5
Les campagnes de mesures ponctuelles	6
a) Les mesures indicatives et fixes en ZR Centre-Val de Loire	6
Relation statistique	7
a) Le plomb.....	7
b) L'arsenic.....	8
a) Le nickel.....	9
a) Le cadmium	11
Evaluation de l'incertitude	12
Conclusion.....	14
ANNEXE : l'inventaire des émissions.....	15
a) Le plomb.....	15
b) L'arsenic.....	16
c) Le nickel.....	16
d) Le cadmium	17

Introduction

Suite à l'évaluation des niveaux de métaux lourds dans les différentes zones de surveillance de la région Centre-Val de Loire, Lig'Air a pu fixer le régime de surveillance suivant la répartition ci-dessous (tableau 1) :

Zone de surveillance	Type de régime
ZAG Orléans	Estimation objective
ZAG Tours	Estimation objective
ZAR Blois	Estimation objective
ZR Centre-Val de Loire	Mesure fixe (Verneuil) et indicative (Bazoches)

Tableau 1 : type de régime de surveillance de la qualité de l'air en fonction de la zone de surveillance

Le rapport ci-dessous a pour objectif de déterminer les niveaux maximaux par zone de surveillance en métaux lourds pour la valeur réglementaire (cf. tableau 2).

Zone de surveillance	Indicateur visé
ZAG Orléans	Valeur limite (moyenne annuelle plomb) Valeur cible (moyenne annuelle arsenic, cadmium, nickel)
ZAG Tours	Valeur limite (moyenne annuelle plomb) Valeur cible (moyenne annuelle arsenic, cadmium, nickel)
ZAR Blois	Valeur limite (moyenne annuelle plomb) Valeur cible (moyenne annuelle arsenic, cadmium, nickel)

Tableau 2 : indicateurs en fonction des ZAS pour les métaux lourds

La méthode d'estimation objective référencée est, pour chaque ZAS concernée :

Zone de surveillance	Méthode d'estimation objective utilisée
ZAG Orléans	Estimation statistique à partir d'autres mesures (suivi régional)
ZAG Tours	Estimation statistique à partir d'autres mesures (suivi régional)
ZAR Blois	Estimation statistique à partir d'autres mesures (suivi régional)

Tableau 3 : Méthode d'estimation objective utilisée pour les ZAS en métaux lourds

Les métaux lourds

a) L'arsenic

Origine : Les sources principales sont l'extraction du cuivre, les installations de combustion (essentiellement du charbon), les ateliers de métaux ferreux et non ferreux, les usines d'incinération des ordures ménagères, l'industrie du verre, le traitement du bois, et l'agriculture (l'arsenic est utilisé dans la fabrication des herbicides et des pesticides).

Effets sur la santé : L'homme absorbe principalement l'arsenic par la nourriture et la boisson mais aussi par inhalation. Tous les composés de l'arsenic ne sont pas toxiques. Le plus toxique est l'arsenic inorganique qui s'accumule dans la peau, les cheveux et les ongles. Ses effets peuvent être ressentis dès les faibles concentrations. Ils pourraient favoriser l'apparition de cancer du poumon, des reins et de la vessie.

Réglementation : la directive 2004-107-CE définit une valeur cible pour l'arsenic contenu dans la fraction PM₁₀.

Valeur cible	6 ng/m³ en moyenne annuelle
---------------------	---

Tableau 4 : Valeur cible réglementaire pour l'arsenic

b) Le cadmium

Origine : Les sources d'émission sont les fonderies de zinc, la métallurgie (fabrication d'alliages, ...), l'incinération des ordures ménagères, la combustion de combustibles fossiles, les industries de la céramique, de la porcelaine et de la peinture (utilisation dans les pigments pour peintures, ...), l'agriculture ainsi que l'usure des pneumatiques des avions et des véhicules automobiles.

Effets sur la santé : Le cadmium pénètre dans le corps soit par voie respiratoire lors d'inhalation de poussières ou d'aérosols soit par ingestion de nourriture ou de boissons contaminées. Il présente un potentiel toxique élevé. Il se détecte dans le sang troubles hépato-digestifs, sanguins, rénaux, osseux et nerveux. De plus, les oxydes, chlorures sulfures et sulfates de cadmium sont classés cancérigènes.

Le cadmium est aussi néfaste pour l'environnement car il perturbe l'écosystème forestier (décomposition de la matière organique). Chez les mammifères, il entraîne l'anémie, la diminution de la reproduction et de la croissance avec des lésions du foie et des reins.

Réglementation : la directive 2004-107-CE définit une valeur cible pour le cadmium contenu dans la fraction PM₁₀.

Valeur cible	5 ng/m ³ en moyenne annuelle
--------------	---

Tableau 5 : Valeur cible réglementaire pour le cadmium

c) Le nickel

Origine : Les principales sources sont la fabrication d'acier inox, la combustion de fuels et d'huiles, l'incinération des ordures ménagères en particulier les batteries au nickel/cadmium, les usines métallurgiques (fabrication d'alliages et d'acier inox), la fabrication des pigments pour peinture.

Effets sur la santé : Le nickel est un oligo-élément indispensable à l'organisme, mais à doses élevées, il devient toxique.

En effet, pour les personnes sensibles, il peut entraîner une allergie par contact avec la peau ou par sa présence dans la nourriture entraînant des manifestations cutanées et respiratoires (asthmes). De plus, les composés du nickel (comme le nickel carbonyle) sont cancérigènes pour le nez et les poumons.

Réglementation : la directive 2004-107-CE définit une valeur cible pour le nickel contenu dans la fraction PM₁₀.

Valeur cible	20 ng/m ³ en moyenne annuelle
--------------	--

Tableau 6 : Valeur cible réglementaire pour l'arsenic

d) Le plomb

Origine : Les émissions de plomb sont en très forte baisse depuis 1990. Depuis l'essence sans plomb, le transport routier a une contribution très faible puis nulle (3% en 2000 puis 0% par la suite). Le secteur qui est désormais le plus émetteur est l'industrie manufacturière en particulier du fait de la métallurgie des métaux ferreux, de la métallurgie des métaux non ferreux et des minéraux non métalliques et matériaux de construction. Les autres secteurs ont un poids beaucoup moins important.

Effets sur la santé : le plomb est connu pour sa toxicité neurologique. Il peut provoquer des troubles du développement cérébral et s'attaquer au système nerveux central.

Réglementation : la directive 2008-50-CE définit une valeur limite pour le plomb contenu dans la fraction PM₁₀.

Valeur limite	0,5 µg/m ³ en moyenne annuelle
---------------	---

Tableau 7 : Valeur limite réglementaire pour le plomb

Les campagnes de mesures ponctuelles

a) Les mesures indicatives et fixes en ZR Centre-Val de Loire

Depuis 2016, la ZAS ZR Région Centre-Val de Loire est équipée sur son site rural de Bazoches d'un préleveur pour la surveillance des métaux lourds dans l'air ambiant. Les prélèvements sont réalisés à raison d'une semaine de prélèvement par mois tout au long de l'année, soit plus de 14% du temps.

De plus, la zone régionale est équipée d'un site de type rural national. Il permet de quantifier les niveaux de fonds de différents polluants dont les métaux lourds sur un site à l'écart de toute source d'émission. Pour Lig'Air, il s'agit du site 34038 Verneuil.

Les moyennes annuelles de ces 2 sites (figures 1 à 4) illustrent l'absence de risque de dépassement de la valeur limite sur cette zone de la région Centre-Val de Loire.

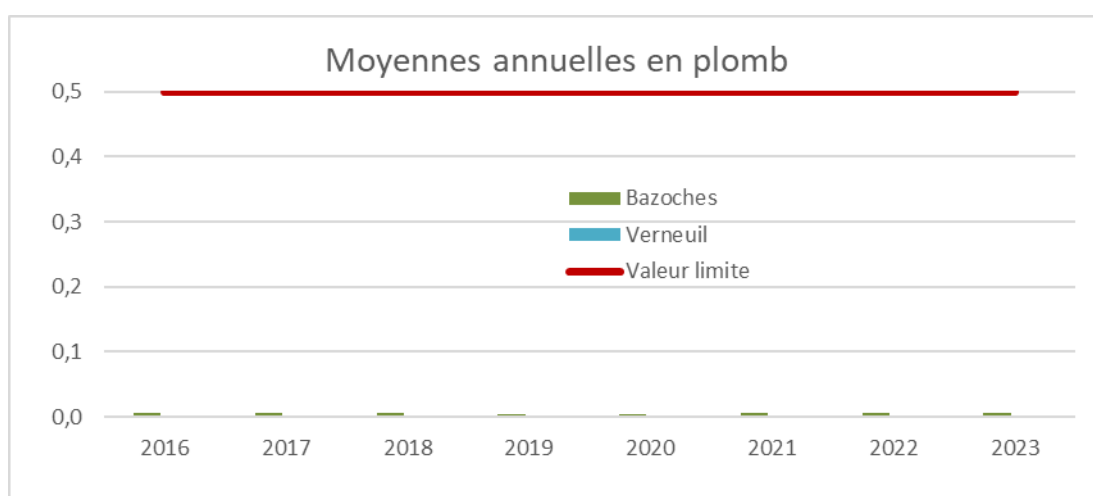


Figure 1 : moyennes annuelles en plomb sur les sites ruraux de Bazoches-les-Gallerandes et de Verneuil de 2016 à 2023 (µg/m³)

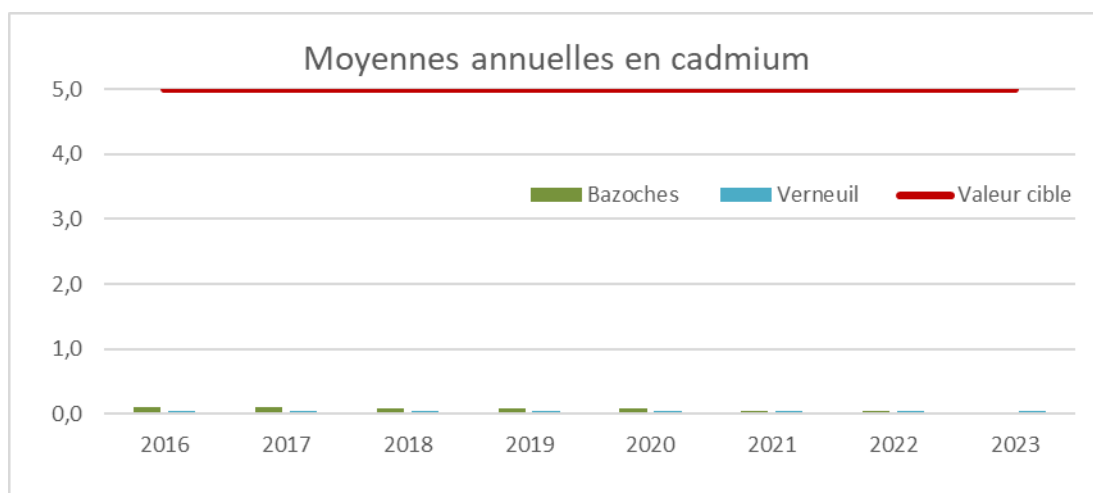


Figure 2 : moyennes annuelles en cadmium sur les sites ruraux de Bazoches-les-Gallerandes et de Verneuil de 2016 à 2023 (ng/m³)

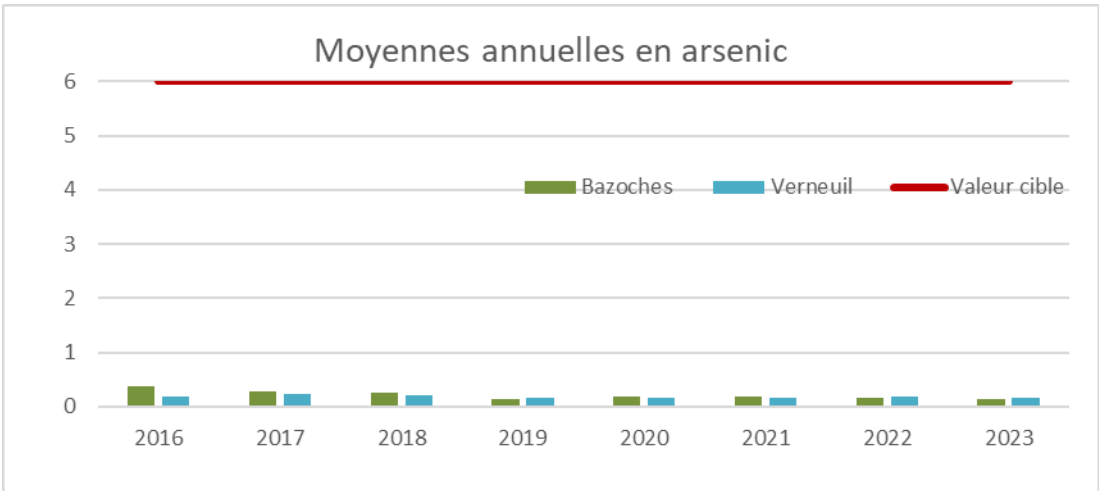


Figure 3 : moyennes annuelles en arsenic sur les sites ruraux de Bazoche-les-Gallerandes et de Verneuil de 2016 à 2023 (ng/m3)

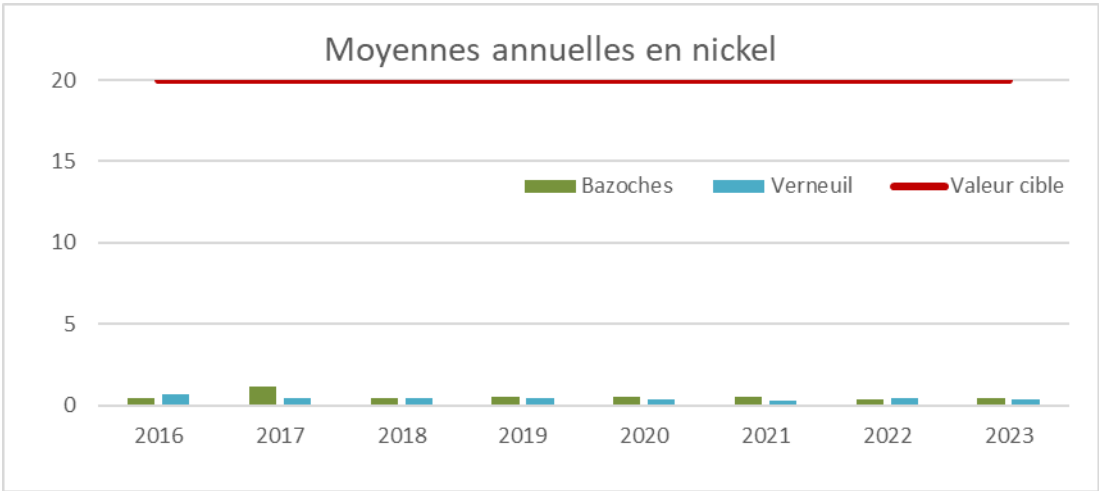


Figure 4 : moyennes annuelles en nickel sur les sites ruraux de Bazoche-les-Gallerandes et de Verneuil de 2016 à 2023 (ng/m3)

Relation statistique

a) Le plomb

L’inventaire des émissions permet de croiser les émissions des communes où Lig’Air a effectué des mesures de métaux lourds et ainsi construire une relation statistique.

	Année	Emissions (kg/an)	Concentrations (ng/m3)
Verneuil	2014	0,02	1,95
	2015	0,02	1,8
	2016	0,02	1,8
	2017	0,02	1,8
	2018	0,02	1,6
	2019	0,02	1,4
	2020	0,02	1,3
	2021		1,5
	2022		1,0
	2023		1,2
Bazoche-les-Gallerandes	2014		
	2015	8,93	

	2016	1,02	5,5
	2017	1,16	6,9
	2018	1,13	6,1
	2019	1,71	3,9
	2020	1,07	3,3
	2021		5,3
	2022		5,6
	2023		6,2

Tableau 8 : Emissions et concentrations en plomb sur les communes où des mesures ont été réalisés de 2014 à 2023.

La régression linéaire donne la relation statistique suivante :

$Conc_{Pb} = 2,5718 * Emi_{Pb} + 1,7838$

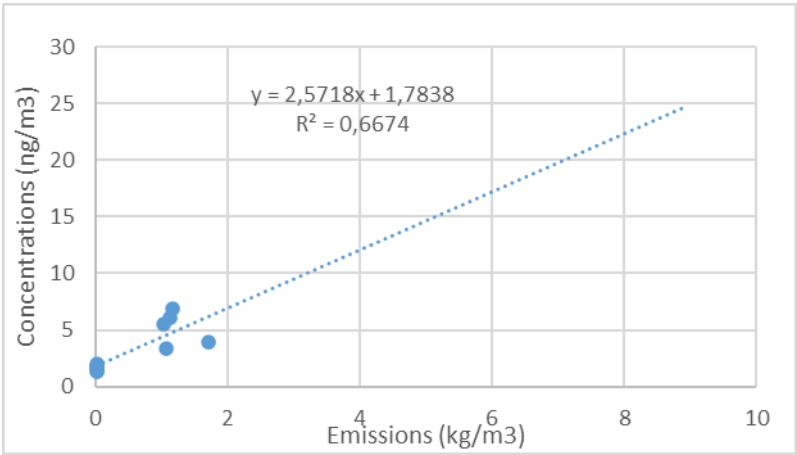


Figure 5 : régression linéaire en plomb

A partir des émissions maximales sur chaque ZAS concernée par l’estimation objective, on en tire un estimation max des concentrations en plomb (tableau 9).

Zone de surveillance	Emissions en 2020 maximale de la zone (en kg/an)	Concentration maximale estimée dans la zone (en ng/m3)
ZAG Orléans	50	129
ZAG Tours	58	151
ZAR Blois	43	112

Tableau 9 : Concentrations maximales estimées par ZAS

b) L’arsenic

L’inventaire des émissions permet de croiser les émissions des communes où Lig’Air a effectué des mesures de métaux lourds et ainsi construire une relation statistique.

	Année	Emissions (kg/an)	Concentrations (ng/m3)
Verneuil	2014	0	0,187
	2015	0	0,2
	2016	0	0,18
	2017	0	0,24
	2018	0	0,21
	2019	0	0,17

	2020	0	0,17
	2021		0,17
	2022		0,18
	2023		0,16
Bazoches-les-Gallerandes	2014	2,55	0,237
	2015	0,14	-
	2016	0,09	0,362562
	2017	0,12	0,27
	2018	0,11	0,25
	2019	0,23	0,13
	2020	0,14	0,18
	2021		0,18
	2022		0,15
	2023		0,14

Tableau 10 : Emissions et concentrations en arsenic sur les communes où des mesures ont été réalisés de 2014 à 2023.

La régression linéaire donne la relation statistique suivante :

Conc_{As} = 0,0133 * Emi_{As} + 0,01966

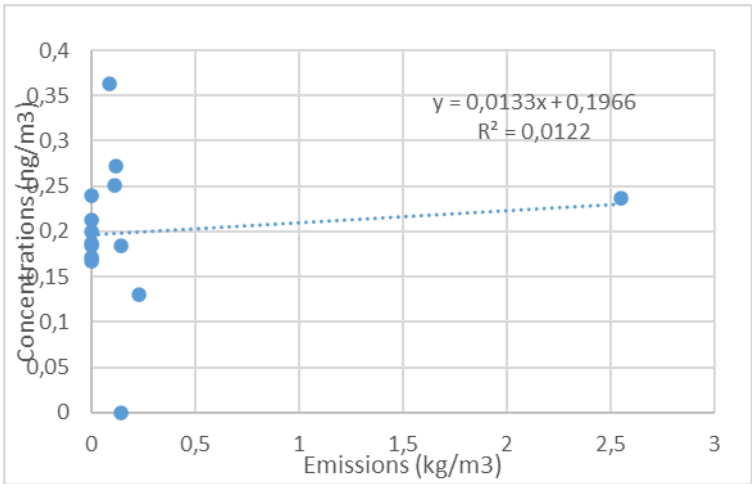


Figure 6 : régression linéaire en arsenic

A partir des émissions maximales sur chaque ZAS concernée par l’estimation objective, on en tire un estimation max des concentrations en arsenic (tableau 11).

Zone de surveillance	Emissions en 2020 maximale de la zone (en kg/an)	Concentration maximale estimée dans la zone (en ng/m3)
ZAG Orléans	2,1	0,2
ZAG Tours	2,4	0,3
ZAR Blois	1,7	0,3

Tableau 11 : Concentrations maximales estimées par ZAS

a) Le nickel

L’inventaire des émissions permet de croiser les émissions des communes où Lig’Air a effectué des mesures de métaux lourds et ainsi construire une relation statistique.

	Année	Emissions (kg/an)	Concentrations (ng/m3)
Verneuil	2014	0	0,511
	2015	0	0,6
	2016	0	0,6
	2017	0	0,5
	2018	0	0,4
	2019	0	0,4
	2020	0	0,4
	2021		0,3
	2022		0,4
	2023		0,4
Bazoches-les-Gallerandes	2014	6,12	0,645
	2015	0,59	
	2016	0,15	0,5
	2017	0,15	1,1
	2018	0,14	0,5
	2019	0,23	0,6
	2020	10,79	0,5
	2021		0,5
	2022		0,4
	2023		0,4

Tableau 12 : Emissions et concentrations en nickel sur les communes où des mesures ont été réalisés de 2014 à 2023.

La régression linéaire donne la relation statistique suivante :

$Conc_{Ni} = 0,0012 * Emi_{Ni} + 0,5526$

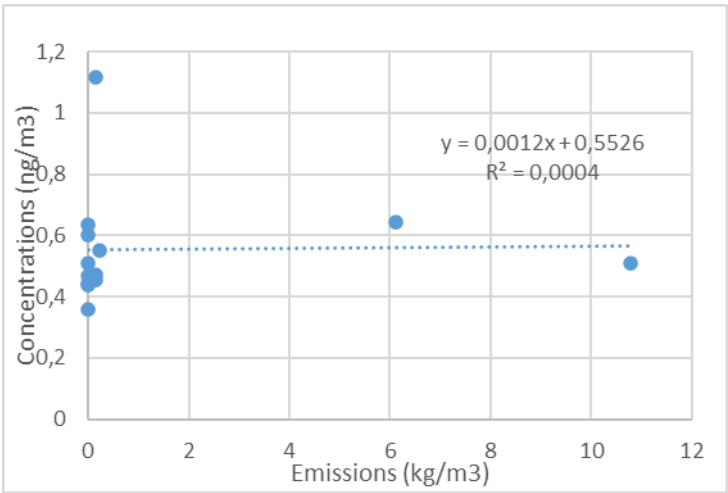


Figure 7 : régression linéaire en nickel

A partir des émissions maximales sur chaque ZAS concernée par l’estimation objective, on en tire un estimation max des concentrations en arsenic (tableau 13).

Zone de surveillance	Emissions en 2020 maximale de la zone (en kg/an)	Concentration maximale estimée dans la zone (en ng/m3)
ZAG Orléans	18,9	0,6
ZAG Tours	11	0,6
ZAR Blois	12,2	0,6

Tableau 13 : Concentrations maximales estimées par ZAS

a) Le cadmium

L’inventaire des émissions permet de croiser les émissions des communes où Lig’Air a effectué des mesures de métaux lourds et ainsi construire une relation statistique.

	Année	Emissions (kg/an)	Concentrations (ng/m3)
Verneuil	2014	0	0,06
	2015	0	0,1
	2016	0	0,05368207
	2017	0	0,06
	2018	0	0,05
	2019	0	0,05
	2020	0	0,05
	2021		0,05
	2022		0,05
Bazoches- les- Gallerandes	2014	1,07	0,09
	2015	0,03	
	2016	0,02	0,12
	2017	0,02	0,10
	2018	0,02	0,09
	2019	0,33	0,08
	2020	0,03	0,08
	2021		0,05
	2022		0,04
	2023		0,03

Tableau 14 : Emissions et concentrations en cadmium sur les communes où des mesures ont été réalisés de 2014 à 2023.

La régression linéaire donne la relation statistique suivante :

$Conc_{Cd} = 0,0173 * Emi_{Cd} + 0,0735$

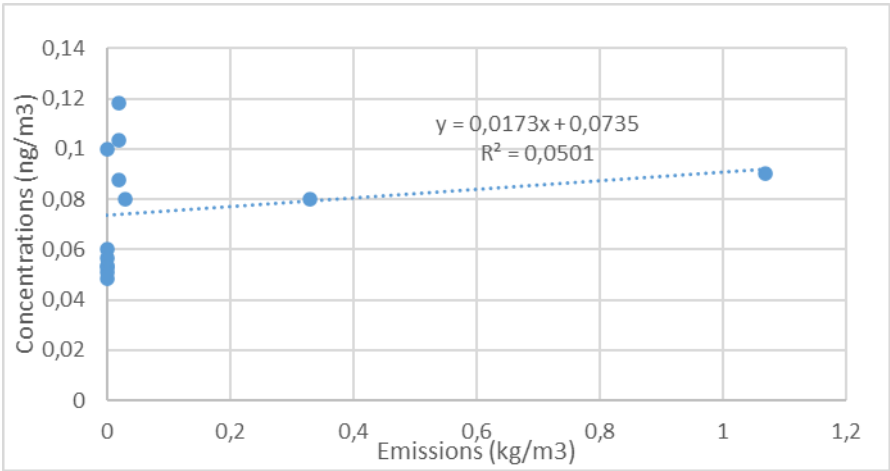


Figure 8 : régression linéaire en cadmium

A partir des émissions maximales sur chaque ZAS concernée par l’estimation objective, on en tire un estimation max des concentrations en arsenic (tableau 15).

Zone de surveillance	Emissions en 2016 maximale de la zone (en kg/an)	Concentration maximale estimée dans la zone (en ng/m3)
ZAG Orléans	3,2	0,14
ZAG Tours	9,4	0,27
ZAR Blois	1	0,09

Tableau 15 : Concentrations maximales estimées par ZAS

Evaluation de l'incertitude

Afin de déterminer une incertitude, la relation statistique est appliquée à l'ensemble des points de mesures et une comparaison entre concentrations mesurées et calculées est présentée dans les tableaux suivants respectivement pour le plomb, l'arsenic, le nickel et le cadmium.

	Année	Emissions (kg/an)	Concentrations (ng/m3)	Concentration calculée
Verneuil	2014	0,02	1,95	1,8
	2015	0,02	1,8	1,8
	2016	0,02	1,8	1,8
	2017	0,02	1,8	1,8
	2018	0,02	1,6	1,8
	2019	0,02	1,4	1,8
	2020	0,02	1,3	1,8
Bazoches-les-Gallerandes	2014			
	2015	8,93		
	2016	1,02	5,5	4,4
	2017	1,16	6,9	4,8
	2018	1,13	6,1	4,7
	2019	1,71	3,9	6,2
	2020	1,07	3,3	4,5

Tableau 16 : comparaison concentrations mesurées et concentrations calculées en plomb.

Ainsi l'écart moyen entre les concentrations mesurées et les concentrations varie de -31% à +58% pour le plomb.

	Année	Emissions (kg/an)	Concentrations (ng/m3)	Concentration calculée
Verneuil	2014	0	0,19	0,2
	2015	0	0,2	0,2
	2016	0	0,18	0,2
	2017	0	0,24	0,2
	2018	0	0,21	0,2
	2019	0	0,17	0,2
	2020	0	0,17	0,2
Bazoches-les-Gallerandes	2014	2,55	0,24	0,2
	2015	0,14	-	
	2016	0,09	0,36	0,2
	2017	0,12	0,27	0,2

	2018	0,11	0,25	0,2
	2019	0,23	0,13	0,2
	2020	0,14	0,18	0,2

Tableau 17 : comparaison concentrations mesurées et concentrations calculées en arsenic.

Ainsi l'écart moyen entre les concentrations mesurées et les concentrations varie de -45% à +54%.

	Année	Emissions (kg/an)	Concentrations (ng/m3)
Verneuil	2014	0	0,511
	2015	0	0,6
	2016	0	0,6
	2017	0	0,5
	2018	0	0,4
	2019	0	0,4
	2020	0	0,4
Bazoches-les-Gallerandes	2014	6,12	0,645
	2015	0,59	
	2016	0,15	0,5
	2017	0,15	1,1
	2018	0,14	0,5
	2019	0,23	0,6
	2020	10,79	0,5

Tableau 18 : comparaison concentrations mesurées et concentrations calculées en nickel.

Ainsi l'écart moyen entre les concentrations mesurées et les concentrations varie de -50% à +26%.

	Année	Emissions (kg/an)	Concentrations (ng/m3)
Verneuil	2014	0	0,06
	2015	0	0,1
	2016	0	0,05368207
	2017	0	0,06
	2018	0	0,05
	2019	0	0,05
	2020	0	0,05
Bazoches-les-Gallerandes	2014	1,07	0,09
	2015	0,03	
	2016	0,02	0,12
	2017	0,02	0,10
	2018	0,02	0,09
	2019	0,33	0,08
	2020	0,03	0,08

Tableau 19 : comparaison concentrations mesurées et concentrations calculées en cadmium.

Ainsi l'écart moyen entre les concentrations mesurées et les concentrations varie de -40% à +44%.

Conclusion

Pour les métaux lourds sur les zones concernées par l'estimation objective et pour les indicateurs réglementaires, le bilan est le suivant :

Zone de surveillance	Indicateur visé	Plomb	Arsenic	Cadmium	Nickel
ZAG Orléans	Moyenne annuelle	129 ng/m3	0,2 ng/m3	0,1 ng/m3	0,6 ng/m3
ZAG Tours	Moyenne annuelle	151 ng/m3	0,3 ng/m3	0,3 ng/m3	0,6 ng/m3
ZAR Blois	Moyenne annuelle	112 ng/m3	0,3 ng/m3	0,1 ng/m3	0,6 ng/m3

ANNEXE : l’inventaire des émissions

a) Le plomb

L’inventaire des émissions réalisé par Lig’Air sur le territoire de la région Centre-Val de Loire, permet de visualiser les zones d’émissions maximales de plomb en 2018 pour la région (figure 10).

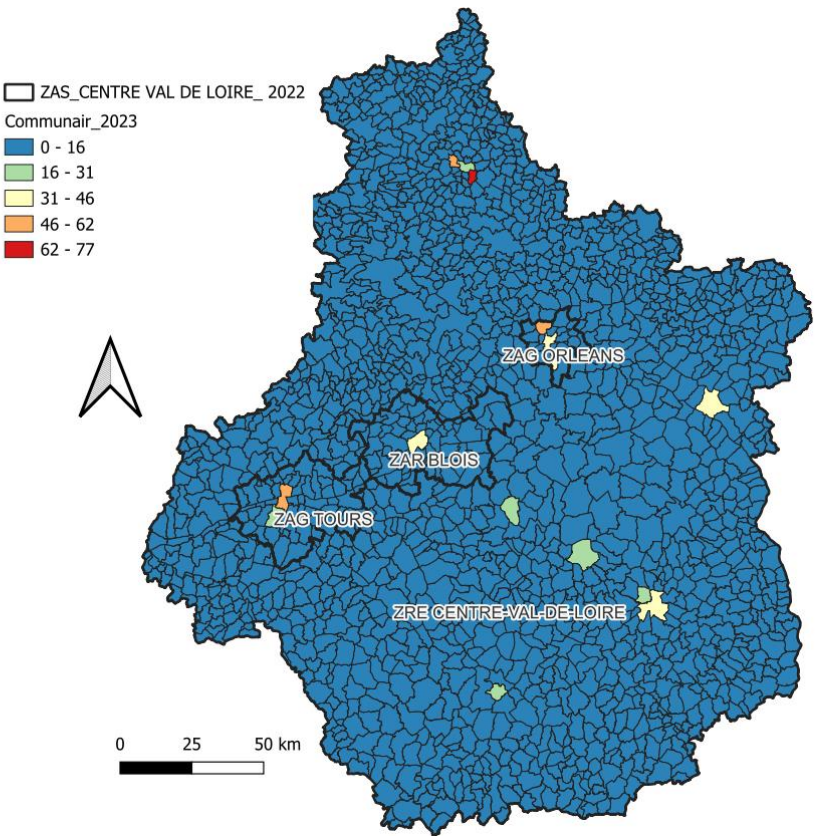


Figure 9 : carte des émissions en plomb en 2020 sur la région Centre-Val de Loire (inventaire 2020 V4.3 avril. 2024).

L’évolution des émissions de plomb sur la région (figure 10) est variable d’une année à l’autre et d’un site à l’autre. Ces émissions sont fortement liées aux activités industrielles émettrices (traitement des déchets, chaufferies biomasse, ...).

Pour les émissions 2020 en plomb, les 10 communes enregistrant les émissions les plus importantes sont présentées dans le tableau 20.

Code Insee	Nom commune	Emissions de plomb kg/an
28177	Gellainville	77
37261	Tours	58
28229	Mainvilliers	52
45302	Saran	50
41018	Blois	43
45234	Orléans	42
18033	Bourges	34
45155	Gien	31
36044	Châteauroux	25
28085	Chartres	21

Tableau 20 : Top 10 des communes où les émissions de plomb sont les plus importantes en région Centre-Val de Loire en 2020.

b) L’arsenic

L’inventaire des émissions réalisé par Lig’Air sur le territoire de la région Centre-Val de Loire, permet de visualiser les zones d’émissions maximales d’arsenic en 2018 pour la région (figure 12).

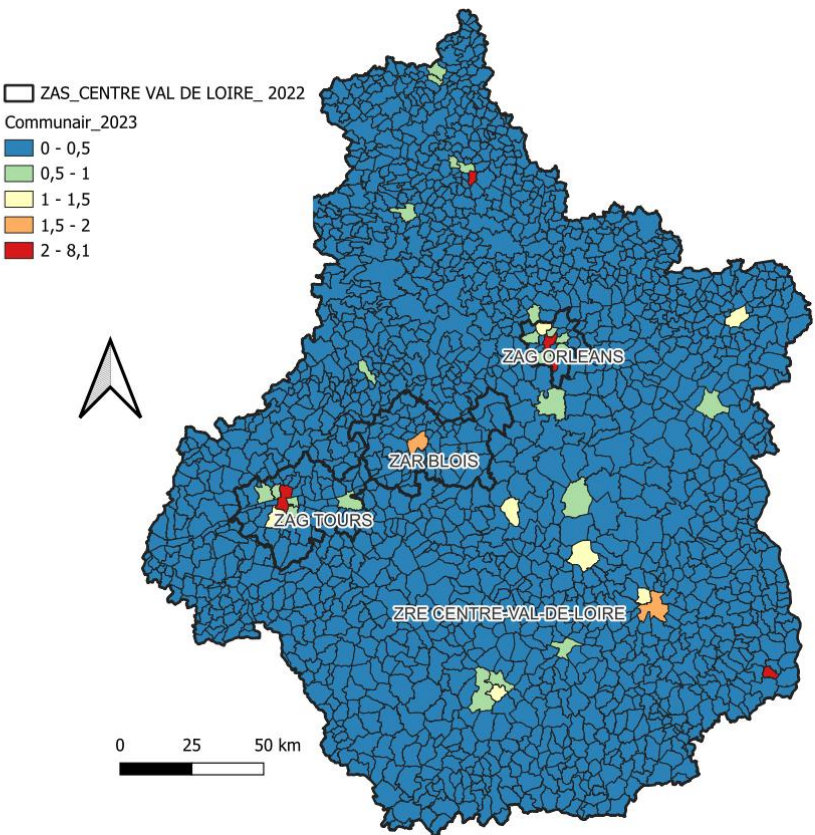


Figure 10 : carte des émissions en arsenic en en 2020 sur la région Centre-Val de Loire (inventaire 2020 V4.3 Avril 2024).

L’évolution des émissions d’arsenic sur la région (figure 11) est variable d’une année à l’autre et d’un site à l’autre. Ces émissions sont fortement à l’activité industrielle émettrices (traitement des déchets, chaufferies biomasse, fabrication de briques, ...).

Pour les émissions 2020 en arsenic, les 10 communes enregistrant les émissions les plus importantes sont présentées dans le tableau 21.

Code Insee	Nom commune	Emissions de arsenic kg/an
28177	GELLAINVILLE	8,1
37261	TOURS	2,4
18106	GROSSOUVRE	2,2
45234	ORLEANS	2,1
18033	BOURGES	1,8
41018	BLOIS	1,7
45302	SARAN	1,5
18279	VIERZON	1,4
45004	AMILLY	1,3
36044	CHATEAUROUX	1,3

Tableau 21 : Top 10 des communes où les émissions d’arsenic sont les plus importantes en région Centre-Val de Loire en 2020.

c) Le nickel

L’inventaire des émissions réalisé par Lig’Air sur le territoire de la région Centre-Val de Loire, permet de visualiser les zones d’émissions maximales de nickel en 2016 pour la région (figure 14).

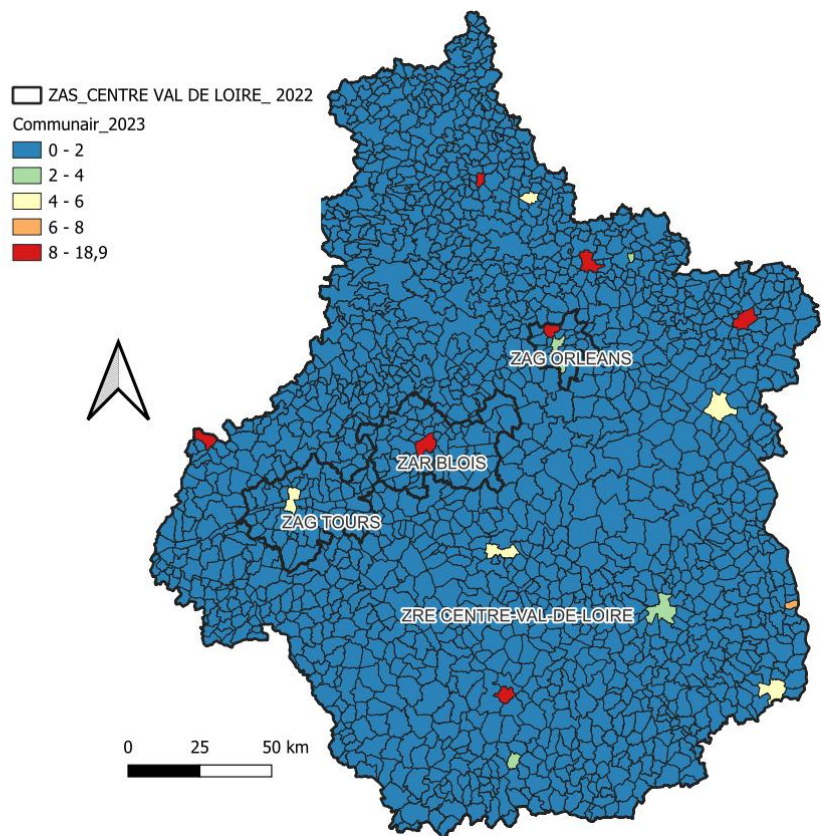


Figure 11 : carte des émissions en nickel en 2020 sur la région Centre-Val de Loire (inventaire 2020 V4.3 avril 2024).

L'évolution des émissions de nickel sur la région (figure 12) est variable d'une année à l'autre et d'un site à l'autre. Ces émissions sont fortement à l'activité industrielle émettrices (traitement des déchets, chaufferies biomasse, ...).

Pour les émissions 2020 en nickel, les 10 communes enregistrant les émissions les plus importantes sont présentées dans le tableau 22.

Code Insee	Nom commune	Emissions de arsenic kg/an
45004	AMILLY	18,9
45302	SARAN	12,4
41018	BLOIS	12,2
37279	VILLIERS-AU-BOUIN	11,03
45025	BAZOUCHES-LES-GALLERANDES	10,8
36044	CHATEAUROUX	10,5
28177	GELLAINVILLE	9,4
18025	BEFFES	6,1
45155	GIEN	5
36034	CHABRIS	4,5

Tableau 22 : Top 10 des communes où les émissions de nickel sont les plus importantes en région Centre-Val de Loire en 2020.

d) Le cadmium

L'inventaire des émissions réalisé par Lig’Air sur le territoire de la région Centre-Val de Loire, permet de visualiser les zones d'émissions maximales de cadmium en 2018 pour la région (figure 16).

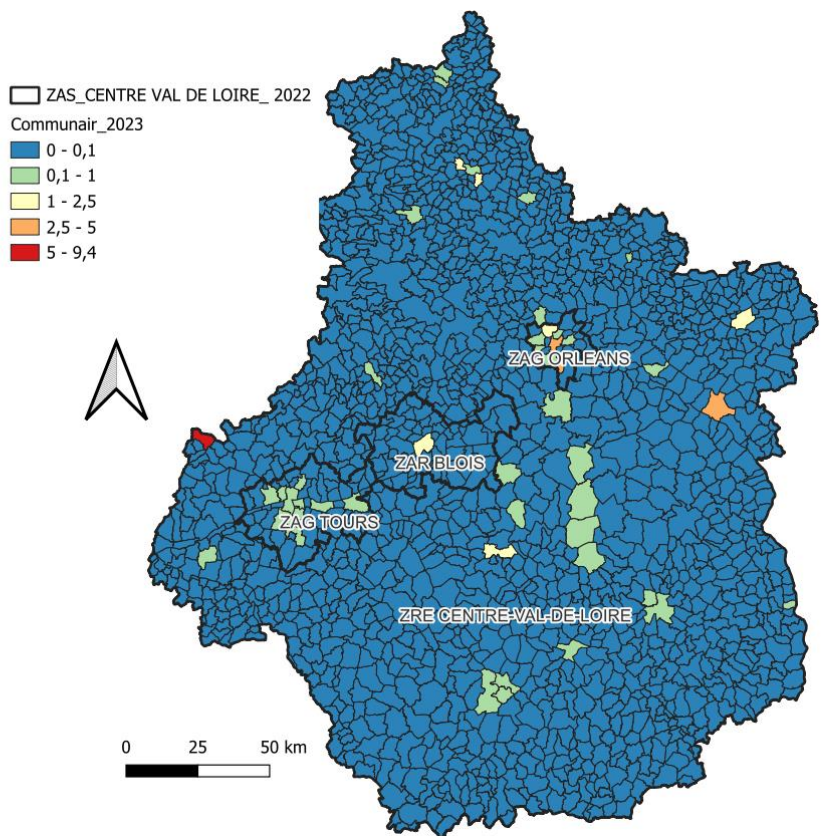


Figure 12 : carte des émissions en cadmium en 2020 sur la région Centre-Val de Loire (inventaire 2020 V4.3 avril 2024).

Pour les émissions 2020 en cadmium, les 10 communes enregistrant les émissions les plus importantes sont présentées dans le tableau 23. La commune de Villiers-au-Bouin est la commune où les émissions de cadmium sont très largement au-dessus de toutes les autres communes.

Code Insee	Nom commune	Emissions de arsenic kg/an
37279	VILLIERS-AU-BOUIN	9,4
45155	GIEN	3,2
45234	ORLEANS	2,8
28229	MAINVILLIERS	2,5
36034	CHABRIS	2,1
45302	SARAN	1,6
45004	AMILLY	1,5
28177	GELLAINVILLE	1,2
41018	BLOIS	1
45252	PITHIVIERS	0,9

Tableau 23 : Top 10 des communes où les émissions de cadmium sont les plus importantes en région Centre-Val de Loire en 2020.